

TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501
MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR DERMAGA MINYAK
BRONDONG LAMONGAN DENGAN KAPASITAS 5.000 DWT
DAN 10.000 DWT

EDO YOGA PRASETYA
NRP. 10111500000053

HILWA JAUDAH
NRP. 10111500000099

Dosen Pembimbing :
Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
NIP. 19571119 198503 1 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501
MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR DERMAGA MINYAK
BRONDONG LAMONGAN DENGAN KAPASITAS 5.000 DWT
DAN 10.000 DWT

EDO YOGA PRASETYA
NRP. 10111500000053

HILWA JAUDAH
NRP. 10111500000099

Dosen Pembimbing :
Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
NIP. 19571119 198503 1 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018



FINAL PROJECT - RC 145501

**STRUCTURE DESIGN MODIFICATION OF BRONDONG
LAMONGAN OIL TANKER TERMINAL FOR 5.000 DWT AND
10.000 DWT CAPACITY**

**EDO YOGA PRASETYA
NRP. 10111500000053**

**HILWA JAUDAH
NRP. 10111500000099**

Counselor lecturer :

**Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
NIP. 19571119 198503 1 001**

**DIPLOMA III OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTEMENT OF CIVIL INFRASTRUKTUR ENGINEERING
FACULTY OF VOCATION
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**

LEMBAR PENGESAHAN

MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR DERMAGA MINYAK BRONDONG LAMONGAN DENGAN KAPASITAS 5.000 DWT DAN 10.000 DWT

TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
ahli madya teknik

Pada

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, Juli 2018

Oleh:

Mahasiswa I



Edo Yoga Prasetya

NRP. 10111500000053

Mahasiswa II



Hilwa Jaudah

NRP. 10111500000099

Dipertujui oleh:

Dosen pembimbing tugas akhir terapan

27 JUL 2018



Ir. Sulchan Arifin, M.Eng

NIP. 19571119 198503 1 001



BERITA ACARA
TUGAS AKHIR TERAPAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :
041523/IT2.VI.8.1/PP.05.02/2018

Tanggal : 6 Juli 2018

| | | | |
|---------------------------|---|--------------|----------------|
| Judul Tugas Akhir Terapan | Modifikasi Desain Struktur Dermaga Minyak Brondong Lamongan Dengan Kapasitas 10.000 DWT | | |
| Nama Mahasiswa | Edo Yoga Prasetya | NRP | 10111500000053 |
| Nama Mahasiswa | Hilwa Jaudah | NRP | 10111500000099 |
| Dosen Pembimbing 1 | Ir. Sulchan Arifin, M. Eng NIP 195711191985031001 | Tanda tangan | |
| Dosen Pembimbing 2 | NIP - | Tanda tangan | |

| URAIAN REVISI | Dosen Penguji |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">Daftar pustaka : SNI . . . , komisi dari pen bebanan.Penggambaran plat besi | Ir. Sulchan Arifin, M. Eng NIP 195711191985031001 |
| | Ir. Sungkono, CES NIP 195911301986011001 |
| <ul style="list-style-type: none">Cara gambar secara total biar tidak menyimpang.Penyaluran pipa paucang ke beton pile Cap ± 300 mm dan penyaluran nya.Billard Pohon dari Cat-walle & hias paucang.Angkat fender dan detailnya, per maone billboard (hacus detail).Check Stabilitas Berthing & Mooring Dapatkan terhadap beban berat dan tarikan kapal. | Ir. Chomaedhi, CES, Geo NIP 195503191984031001 |
| | NIP - |

| PERSETUJUAN HASIL REVISI | | | |
|--|---|---|-----------------|
| Dosen Penguji 1 | Dosen Penguji 2 | Dosen Penguji 3 | Dosen Penguji 4 |
| Ir. Sulchan Arifin, M. Eng NIP 195711191985031001 | Ir. Sungkono, CES NIP 195911301986011001 | Ir. Chomaedhi, CES, Geo NIP 195503191984031001 | - NIP - |

| Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjiilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan | | Dosen Pembimbing 1 | Dosen Pembimbing 2 |
|---|--|--|--------------------|
| | | Ir. Sulchan Arifin, M. Eng NIP 195711191985031001 | - NIP - |



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama

: **1 EDO YOGA PRASETYA**

2 HILWA JAUDAN

NRP

: **1 101150000053**

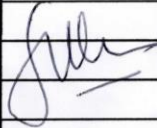
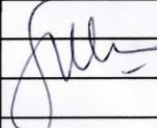
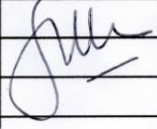
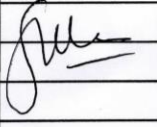
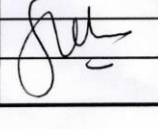
2 101150000099

Judul Tugas Akhir

: **Modifikasi desain struktur dermaga minyak brondong
 lanongan dengan kapasitas 10.000 DWT**

Dosen Pembimbing

: **Ir. Sulchon Arifin, M. Eng.**

| No | Tanggal | Tugas / Materi yang dibahas | Tanda tangan | Keterangan | | |
|----|---------------|---|---|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. | 06 April 2018 | - Energy absorpsi > E_f | | | | |
| | | - Elevasi platform dicok lagi harus memenuhi 5000 & 10.000 DWT, balok fender |  | B | C | K |
| | | - ganti data tanah jadi BH 3 | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | - 1/3 tiang pancang harus terkena jepitan tanah keras | | | | |
| | | - platform coba ditecikan lagi, sama syarat jarak berthing & mooring dilihat lagi. berthing harus lebih maju daripada platform. |  | B | C | K |
| | | - ada bangunan 7,5 x 7,5 m diatas platform. |  | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | - kop gambar | | | | |
| | | | | B | C | K |
| 2 | 6 Juni 2018 | Melengkapi gambar HwL, Lws, Elevasi, Denah tiang pancang, Pile cap, Penamaan As, |  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | perhitungan catwalk, Mooring tiang pancang |  | B | C | K |
| | | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Ket.

- :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947537 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 2
NRP : 1 2
Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing :

| No | Tanggal | Tugas / Materi yang dibahas | Tanda tangan | Keterangan | | |
|----|--------------|---|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 3. | 22 Juni 2018 | - Gambar layout dari darat sampai dermaga 1:1000 | | | | |
| | | - Denah pelat lantai dikasi tulasan tipe apa | | | | |
| | | - dikasi dikatori, digambar juga dikasi per 35 meter, diskala sampai kintan | | B | C | K |
| | | - Detail gbr tiang pancang (diameter, tahanan) | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | - Pipa ganti diameter jadi 8 inch atau 20 cm sejumlah 2 buah. | | B | C | K |
| | | - Pot. melintang trestle diperbaiki | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | - Pagar hanya di trestle. | | | | |
| | | - landing arm. | | | | |
| | | - fender di platf ambil separuh tj aja | | B | C | K |
| | | - gambar seabed nya juga untuk biar tahu btp dalam jepitannya. | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | - defleksi pada saat kapal menabrak. | | | | |
| | | ↓ tiang pancang. (Gaya vertikal & horisontal) | | B | C | K |
| | | - Potrasan masalah tidak menancarkin pipa, hanya struktur. | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | - Gambar pot. boulder, gbr fender. | | | | |
| | | - Sistem perjangkaran nya simana. | | B | C | K |
| | | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | |

Ket.

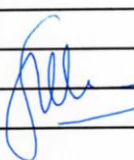
- B = Lebih cepat dari jadwal
C = Sesuai dengan jadwal
K = Terlambat dari jadwal



ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 EDO YOGA PRASETYA 2 HILWA JAUDAH
NRP : 1 16111500000053 2 10111500000099
Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing : Ir. Sulchan Arifin.

| No | Tanggal | Tugas / Materi yang dibahas | Tanda tangan | Keterangan | | |
|----|--------------|--|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 4 | 29 Juni 2018 | • Barak platform ganggaa ke bertling sekutus fender dr bertling. | | | | |
| | | • Angkur dari tiang ke balok. |  | B | C | K |
| | | • tampat depan dormaga. | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | • Posisi catwalk. Rih yg paling pendek. | | | | |
| | | • Daftar gambar | | | | |
| | | • Gemp diambil 50 tahun. | | B | C | K |
| | | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | |
| | | | | B | C | K |
| | | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | |
| | | | | B | C | K |
| | | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | |
| | | | | B | C | K |
| | | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | |

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal

MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR DERMAGA MINYAK BRONDONG LAMONGAN DENGAN KAPASITAS 5.000 DWT DAN 10.000 DWT

Nama Mahasiswa : Edo Yoga Prasetya
NRP : 101115000000053

Nama Mahasiswa : Hilwa Jaudah
NRP : 101115000000099

Jurusan : D-III Teknik Sipil FV-ITS

Dosen Pembimbing : Ir. Sulchan Arifin, M.Eng

ABSTRAK

Lamongan Oil Tanker Terminal (LOTT) yang berada di Brondong, Kabupaten Lamongan, Provinsi Jawa Timur merupakan dermaga yang melayani kapal curah cair dari 1.000 DWT hingga 50.000 DWT. Pada kondisi eksisting, LOTT terbagi menjadi 3 terminal yang masing-masing terminal melayani kapal dengan kapasitas yang berbeda-beda. Terminal 1 merupakan terminal yang melayani kapal dengan kapasitas 1.000 DWT hingga 5.000 DWT. Pada Terminal 1 inilah yang kami modifikasi menjadi terminal yang melayani kapal dengan kapasitas 5.000 DWT dan 10.000 DWT dengan aman dan nyaman.

Dermaga direncanakan periode ulang gempa 500 tahun dan kombinasi pembebanan mengikuti SNI 1725-2016: Standar Pembebanan untuk jembatan. Sedangkan persyaratan bangunan dermaga mengacu pada *Oil Company International Marine Forum* (OCIMF) dan dianalisis dengan menggunakan software SAP2000. Elemen struktur dermaga direncanakan dengan metode cast in situ dikarenakan lebih ekonomis dari segi biaya, dan meminimalisir terjadinya masalah pada sambungan elemen struktur.

Berdasarkan perencanaan modifikasi desain yang dilakukan, didapatkan elevasi dermaga +4.00 LWS, dengan dimensi platform adalah 35 meter x 15 meter. Dimensi mooring dolphin sebesar 6,5 meter x 6,5 meter dan dimensi berthing dolphin sebesar 6,75 meter

x 5 meter. Untuk panjang trestle disesuaikan dengan jarak antara dermaga dan daratan yaitu 1200 meter dengan lebar 8 meter. Dermaga yang direncanakan akan dilengkapi dengan beberapa prasarana utama yaitu fender tipe SV 800 H, bollard MT50 serta marine loading arm B0030. Semua hasil perhitungan untuk semua elemen struktur disajikan pada gambar teknik.

Kata Kunci: dermaga curah cair, LOTT, platform, trestle berthing, mooring.

STRUCTURE DESIGN MODIFICATION OF BRONDONG LAMONGAN OIL TANKER TERMINAL FOR 5.000 DWT AND 10.000 DWT CAPACITY

Student 1 : Edo Yoga Prasetya
NRP : 101115000000053

Student 2 : Hilwa Jaudah
NRP : 101115000000099

Department : D-III Teknik Sipil FV-ITS

Counsellor Lecturer : Ir. Sulchan Arifin, M.Eng

ABSTRACT

Lamongan Oil Tanker Terminal (LOTT) in Brondong, Lamongan, East Java Province was designed to be able to serve 1.000 DWT to 50.000 DWT ship. In existing conditions, LOTT was divided into 3 terminals that each terminal serves ships with different capacities. Terminal 1 serves from 1.000 DWT to 5.000 DWT ships. These Terminal is planned to be modified into a port that serves 5.000 DWT to 10.000 DWT ships safely.

The port is planned to withstand earthquakes with a 500-year repetition period and the combination of loading is using SNI 1725-2016: Standar Pembebanan untuk Jembatan. The port building requirements are referring to Oil Company International Marine Forum (OCIMF) and analyzed using SAP2000 software. The port structure elements are planned with cast in situ method due to cost considerations and minimize the problem of structure elements connections.

Based on the modification planning, the elevation of port is +4.00 meters above LWS with the dimensions of platform are 35 meters x 15 meters. The dimensions of mooring dolphin are 6,5 meters x 6,5 meters and the dimensions of berthing dolphin are 6,75 meters x 5 meters. For the length of the trestle which adjusted to the distance between the port and the mainland is 1200 meters long and the width is 8 meters. The port also has primary facilities

such as SV 800H type offenders, MT50 bollards and B0030 marine loading arm. All calculations for all structural elements are presented in technical drawing.

Keywords: liquid bulk port, LOTT, platform, trestle berthing, mooring.

KATA PENGANTAR

Penulis memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Modifikasi Desain Struktur Dermaga Minyak Brondong Lamongan Dengan Kapasitas 5.000 DWT dan 10.000 DWT” seperti yang diharapkan.

Selama proses penyusunan tugas akhir ini, penulis mendapatkan banyak bimbingan, dukungan dan pengarahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat yang besar penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada:

1. Allah SWT yang memberikan kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan tugas akhir,
2. Orang tua dan seluruh keluarga yang selalu memberikan motivasi, dukungan dan doa sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik,
3. Bapak Ir. Sulchan Arifin, M.Eng selaku dosen pembimbing yang dengan sepenuh hati membimbing dan membantu memberikan arahan dan saran yang berharga dalam penyelesaian penulisan tugas akhir ini,
4. Teman-teman kelas Y '15, Bangunan Transportasi '15, dan juga kakak tingkat yang tidak segan-segan untuk membagi sebagian ilmunya kepada kami
5. Dan berbagai pihak yang juga turut membantu kelancaran proses dan kesuksesan pelaksanaan tugas akhir kami.

Penulis menyadari bahwa Proposal Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, sumbangan pemikiran dari berbagai kalangan sangat diharapkan untuk penyempurnaan Proposal Tugas Akhir ini. Semoga karya tulis ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| ABSTRAK | i |
| ABSTRACT | iii |
| KATA PENGANTAR..... | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| DAFTAR TABEL | xix |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah | 2 |
| 1.4 Tujuan | 2 |
| 1.5 Manfaat | 2 |
| 1.6 Lokasi Proyek | 3 |
| 1.7 Layout Dermaga | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Gambaran Umum | 5 |
| 2.2 Perencanaan Layout Dermaga..... | 6 |
| 2.2.1 Trestle | 6 |
| 2.2.2 Platform | 6 |

| | |
|---|----|
| 2.2.3 Berthing dolphin..... | 6 |
| 2.2.4 Mooring dolphin..... | 7 |
| 2.3 Penetapan Elevasi Dermaga dan Dimensi Elemen Struktur | 7 |
| 2.3.1 Elevasi dermaga | 7 |
| 2.3.2 Dimensi pelat lantai..... | 8 |
| 2.3.3 Dimensi gelagar rencana | 8 |
| 2.3.4 Dimensi tiang pancang rencana..... | 9 |
| 2.3.5 Dimensi pile cap (poer) | 10 |
| 2.4 Perencanaan Fender..... | 10 |
| 2.4.1 Menghitung energi tumbukan kapal | 10 |
| 2.4.2 Pemilihan tipe fender..... | 12 |
| 2.5 Perencanaan Bollard..... | 13 |
| 2.5.1 Pemilihan bollard | 13 |
| 2.5.2 Sambungan bollard..... | 16 |
| 2.6 Pembebanan | 17 |
| 2.6.1 Pembebanan pada catwalk..... | 18 |
| 2.6.2 Pembebanan pada platform | 18 |
| 2.6.3 Pembebanan pada mooring dolphin | 27 |
| 2.6.4 Pembebanan pada berthing dolphin..... | 28 |
| 2.6.5 Pembebanan pada trestle | 29 |
| 2.6.6 Kombinasi pembebanan | 30 |

| | |
|--|-----------|
| 2.7 Perencanaan Struktur Catwalk | 31 |
| 2.7.1 Kontrol penampang | 31 |
| 2.7.2 Kontrol tekuk lateral | 31 |
| 2.7.3 Kontrol lendutan terjadi | 32 |
| 2.7.4 Sambungan balok girder catwalk | 32 |
| 2.8 Analisa Struktur dan Penulangan | 34 |
| 2.8.1 Penulangan pada plat | 34 |
| 2.8.2 Kontrol stabilitas lendutan plat | 36 |
| 2.8.3 Penulangan pada balok | 36 |
| 2.8.4 Kontrol stabilitas balok | 40 |
| 2.9 Perhitungan Daya Dukung Pondasi | 40 |
| BAB III METODOLOGI | 43 |
| 3.1 Pengumpulan Data | 43 |
| 3.2 Spesifikasi Dermaga | 43 |
| 3.3 Analisa perencanaan struktur | 43 |
| 3.4 Penggambaran struktur | 46 |
| 3.5 Penulisan laporan | 46 |
| 3.6 Bagan Alur (Flowchart) | 47 |
| BAB IV KRITERIA DESAIN | 49 |
| 4.1 Data yang digunakan | 49 |
| 4.1.1 Data kapal | 49 |
| 4.1.2 Data bathymetri | 50 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1.3 Data arus..... | 50 |
| 4.1.4 Data angin..... | 50 |
| 4.1.5 Data pasang surut | 51 |
| 4.1.6 Data tanah..... | 51 |
| 4.2 Kualitas Material | 52 |
| 4.2.1 Beton | 52 |
| 4.2.2 Baja..... | 53 |
| 4.2.3 Tiang pancang | 53 |
| 4.3 Perencanaan Tata Letak dan Dimensi Dermaga..... | 54 |
| 4.3.1 Elevasi trestle | 54 |
| 4.3.2 Panjang dan lebar trestle..... | 54 |
| 4.3.3 Panjang dan lebar platform..... | 54 |
| 4.3.4 Panjang bentang catwalk | 55 |
| BAB V PRELIMINARY DESIGN | 57 |
| 5.1 Tebal Struktur Pelat Trestle..... | 57 |
| 5.2 Tebal Struktur Pelat Platform..... | 57 |
| 5.3 Preliminary Design Balok Trestle | 57 |
| BAB VI PEMBEBANAN | 61 |
| 6.1 Pembebanan pada trestle | 61 |
| 6.1.2 Beban vertikal..... | 61 |
| 6.1.3 Beban horizontal..... | 62 |
| 6.2 Pembebanan Pada Platform..... | 70 |

| | |
|---|-----|
| 6.2.1 Beban vertikal..... | 70 |
| 6.2.2 Beban horizontal..... | 71 |
| 6.3 Pembebanan Pada Mooring Dolphin..... | 72 |
| 6.3.1 Beban vertikal..... | 72 |
| 6.3.2 Beban horizontal..... | 72 |
| 6.4 Pembebanan Pada Berthing Dolphin..... | 79 |
| 6.4.1 Beban vertikal..... | 79 |
| 6.4.2 Beban horizontal..... | 79 |
| 6.5 Pembebanan Pada Catwalk | 85 |
| 6.5.1 Beban vertikal..... | 85 |
| BAB VII ANALISA STRUKTUR..... | 87 |
| 7.1 Gambaran Umum | 87 |
| 7.2 Perencanaan Trestle..... | 87 |
| 7.2.1 Analisa Pembebanan pada Trestle..... | 87 |
| 7.2.2 Perencanaan Penulangan Plat Lantai Trestle..... | 88 |
| 7.2.3 Perencanaan Penulangan Balok Trestle..... | 93 |
| 7.2.4 Perhitungan Kolom Virtual | 107 |
| 7.2.5 Perencanaan Pile Cap trestle | 107 |
| 7.2.6 Perhitungan panjang penyaluran ke struktur atas pada trestle | 111 |
| 7.2.7 Daya dukung dan kedalaman pondasi tiang pancang | 115 |
| 7.3 Perencanaan Struktur Platform..... | 120 |

| | |
|---|-----|
| 7.3.1 Analisa pembebanan pada platform | 120 |
| 7.3.2 Perencanaan Penulangan Plat Lantai Platform..... | 121 |
| 7.3.3 Perencanaan Penulangan Balok Platform..... | 128 |
| 7.3.4 Perhitungan Kolom Virtual | 141 |
| 7.3.5 Perencanaan Pile Cap platform | 141 |
| 7.3.6 Perhitungan panjang penyaluran ke struktur atas pada platform | 145 |
| 7.4 Perencanaan Mooring dolphin..... | 149 |
| 7.4.1 Analisa pembebanan pada mooring dolphin | 149 |
| 7.4.2 Perencanaan Pile Cap mooring dolphin | 150 |
| 7.4.3 Perhitungan panjang penyaluran ke struktur atas pada mooring dolphin | 153 |
| 7.4.3 Pemasangan Bollard | 157 |
| 7.5 Perencanaan Berthing dolphin..... | 159 |
| 7.5.1 Analisa pembebanan pada mooring dolphin | 159 |
| 7.5.2 Perencanaan Pile Cap berthing dolphin..... | 160 |
| 7.5.3 Perencanaan balok fender..... | 164 |
| 7.5.4 Perhitungan panjang penyaluran ke struktur atas pada berthing dolphin | 169 |
| 7.6 Perencanaan Struktur Catwalk | 172 |
| 7.6.1 Permodelan Catwalk..... | 172 |
| 7.6.2 Permodelan Catwalk..... | 173 |
| 7.6.3 Sambungan antar Balok Girder Catwalk | 175 |

| | |
|--|-----|
| 7.6.4 Sambungan Girder – Diafragma Catwalk | 178 |
| 7.6.5 Penulangan Cap Beam Catwalk | 181 |
| 7.6.6 Perhitungan Panjang Penyaluran ke Struktur Atas... | 185 |
| BAB VIII KESIMPULAN | 187 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 189 |

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|-------|
| Gambar 1. 1 Peta lokasi proyek..... | 3 |
| Gambar 1. 2 Layout dermaga 10.000 DWT | 4 |
| Gambar 2. 1 Layout standard dermaga..... | 7 |
| Gambar 2. 2 Grafik rasio r/L | 11 |
| Gambar 2. 3 Macam tipe fender (sumber: Doshin Rubber Fender) | 13 |
| Gambar 2. 4 Grafik koefisien arus | 16 |
| Gambar 2. 5 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) deterministik akibat sumber gempa sesar dangkal dengan 84 percentile (150 Median) | 20 |
| Gambar 2. 6 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) deterministik akibat sumber gempa subduksi dengan 84 percentile (150 Median) | 21 |
| Gambar 2. 7 Peta percepatan di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 20% dalam 10 tahun | 21 |
| Gambar 2. 8 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 10 tahun | 22 |
| Gambar 2. 9 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 10 tahun | 22 |
| Gambar 2. 10 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun | 23 |
| Gambar 2. 11 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun | 23 |
| Gambar 2. 12 Peta percepatan spectrum respons 0,2 detik dengan redaman 5% di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun | 24 |

| | |
|--|----|
| Gambar 2. 13 Peta percepatan spectrum respons 0,1 detik dengan redaman 5% di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun | 24 |
| Gambar 2. 14 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun | 25 |
| Gambar 2. 15 Peta percepatan spectrum respons 0,2 detik dengan redaman 5% di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun | 25 |
| Gambar 2. 16 Peta percepatan spectrum respons 0,1 detik dengan redaman 5% di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun | 26 |
| Gambar 2. 17 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 100 tahun | 26 |
| Gambar 2. 18 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 1% dalam 100 tahun | 27 |
| Gambar 3. 1 Flowchart pengerjaan tugas akhir | 47 |
| Gambar 3. 2 lanjutan flowchart pengerjaan tugas akhir | 48 |
| Gambar 6. 1 Peta Gambar 8 Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017 dan lokasi perencanaan dermaga | 65 |
| Gambar 6. 2 Peta Gambar 9 Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017 dan lokasi perencanaan dermaga | 66 |
| Gambar 6. 3 Grafik respon spectrum | 70 |
| Gambar 6. 4 Permodelan sumbu tarikan kapal..... | 73 |
| Gambar 6. 5 Tipe bollard (sumber: Catalogue Maritime International Mooring Bollard) | 78 |
| Gambar 6. 6 Jari-jari putaran di sekeliling pusat berat kapal | 81 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 6. 7 Spesifikasi fender (sumber: Doshin Rubber Fender) | 83 |
| | |
| Gambar 7. 1 Permodelan struktur trestle dengan SAP2000 | 88 |
| Gambar 7. 2 Permodelan struktur platform dengan SAP2000 .. | 121 |
| Gambar 7. 3 Permodelan struktur mooring dolphin dengan SAP2000..... | 149 |
| Gambar 7. 4 Permodelan struktur berthing dolphin dengan SAP2000..... | 160 |
| Gambar 7. 5 Permodelan struktur catwalk dengan SAP2000 ... | 173 |

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2. 1 Elevasi lantai dermaga diatas HWS | 8 |
| Tabel 2. 2 Kebutuhan kapasitas bollard berdasarkan kapal rencana | 14 |
| Tabel 2. 3 Base dan shaft coefficient untuk beberapa tipe tanah dan pondasi..... | 41 |
| | |
| Tabel 4. 1 Dimensi kapal tanker (<i>sumber: Bridgestone Marine Fender Design Manual</i>) | 49 |
| Tabel 4. 2 Rekapitulasi data kapal tanker 5.000 dan 10.000 DWT | 49 |
| Tabel 4. 3 Boring Profil (BH-3) Lamongan Oil Tanker Terminal (2016) | 52 |
| Tabel 4. 4 Spesifikasi tiang pancang | 53 |
| | |
| Tabel 6. 1 Data tanah Lamongan Oil Tanker Terminal..... | 63 |
| Tabel 6. 2 Kelas situs tanah..... | 64 |
| Tabel 6. 3 Faktor amplifikasi untuk periode 0 detik dan 0,2 detik (F_{PGA}/F_a) | 67 |
| Tabel 6. 4 Besarnya nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v)..... | 67 |
| Tabel 6. 5 Perhitungan spectra acceleration | 68 |
| Tabel 6. 6 Spesifikasi marine loading arm (<i>sumber: Emcowheaton catalogue</i>) | 71 |
| Tabel 6. 7 Besar tarikan kapal | 73 |
| Tabel 6. 8 Perhitungan kebutuhan bollard..... | 76 |
| Tabel 6. 9 Rekapitulasi perhitungan P_w | 77 |

| | |
|---|-----|
| Tabel 6. 10 Penempatan bollard | 79 |
| Tabel 6. 11 Persyaratan jarak antar fender | 84 |
| Tabel 6. 12 Rekapitulasi perhitungan berthing force | 85 |
| | |
| Tabel 7. 1 Rekapitulasi momen pada plat trestle..... | 88 |
| Tabel 7. 2 Rekapitulasi momen pada balok trestle..... | 94 |
| Tabel 7. 3 Rekapitulasi perhitungan balok memanjang dan melintang pada trestle..... | 106 |
| Tabel 7. 4 Rekapitulasi momen pada pile cap trestle | 108 |
| Tabel 7. 5 Pondasi tiang pancang “Steel pipe pile”..... | 115 |
| Tabel 7. 6 Tabel Base dan shaft coefficient untuk beberapa tipe tanah dan pondasi (Decourt & Quaresma, 1978 & Decourtetal, 1996)..... | 116 |
| Tabel 7. 7 Data tanah SPT | 117 |
| Tabel 7. 8 Harga N’ koreksi | 118 |
| Tabel 7. 9 Daya dukung tanah terhadap pondasi..... | 118 |
| Tabel 7. 10 Rekapitulasi momen pada plat platform..... | 121 |
| Tabel 7. 11 Rekapitulasi momen pada balok platform..... | 128 |
| Tabel 7. 12 Rekapitulasi perhitungan balok memanjang dan melintang pada platform..... | 140 |
| Tabel 7. 13 Rekapitulasi momen pada pile cap platform | 142 |
| Tabel 7. 14 Rekapitulasi momen pada pile cap mooring dolphin | 150 |
| Tabel 7. 15 Rekapitulasi momen pada pile cap berthing dolphin | 161 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lamongan adalah sebuah kabupaten di Provinsi Jawa Timur, Indonesia sekitar km 57,3 km dari kota Surabaya. Kota Lamongan memiliki keunggulan yang berpeluang untuk memanfaatkan potensi pengembangan pelabuhan laut.

Pelabuhan Brondong merupakan pelabuhan yang melayani proses distribusi kapal tanker minyak. Pelabuhan Brondong memiliki peran strategis dalam pelayanan kegiatan transportasi laut yang berperan dalam peningkatan ekonomi masyarakat sekitar Lamongan. Proses operasi pelabuhan merupakan proses yang cukup penting di mana prasarana dermaga yang ada haruslah menjamin kemudahan dan kenyamanan proses kerja yang dilaksanakan. Oleh karena itu, maka diperlukannya suatu perancangan struktur dermaga yang mampu untuk menampung beban yang ada sekaligus mempermudah, melancarkan dan menjamin keamanan proses operasi dermaga. Dermaga Brondong sendiri terletak pada Desa Sedayulawas, Kecamatan Brondong, Kabupaten Lamongan, Provinsi Jawa Timur.

Dengan kondisi eksistingnya sebagai berikut :

- Nama dermaga : Lamongan Oil Tanker Terminal
- Tipe dermaga : Jetty
- Struktur fondasi : Tiang Pancang Baja
- Jenis kapal : Tanker 1.000, 3.000, 5.000 DWT
- Elevasi platform : + 4.00
- Dimensi mooring dolphin : 6,5 m x 6,5 m x 1,5 m
- Dimensi berthing dolphin : 6,6 m x 5,75 m x 1,5 m

Lalu akan kami modifikasi dengan mengurangi mooring dan merubah beberapa dimensi menjadi :

- Struktur fondasi : Tiang Pancang Baja
- Jenis kapal : Tanker 5.000 , 10.000 DWT

- Lebar platform : 15 meter
- Dimensi mooring dolphin : 6,5 m x 6,5 m x 1,5 m
- Dimensi berthing dolphin : 5,75 m x 5 m x 2 m

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang diatas, maka dapat ditarik rumusan masalah yaitu, Bagaimana merencanakan struktur dermaga yang mampu melayani kapal dengan kapasitas 10.000 DWT.

1.3 Batasan Masalah

Mengingat luasnya bidang perencanaan yang akan timbul dalam penyusunan tugas akhir dan keterbatasan waktu maupun disiplin ilmu yang dikuasi, maka perlu dipakai batasan permasalahan yang meliputi:

1. Desain yang dilakukan adalah untuk mengetahui dimensi, analisa struktur, dan kontrolnya.
2. Tidak meninjau metode pelaksanaan, analisa anggaran biaya, dan segi arsitektural.
3. Analisa struktur menggunakan program SAP 2000.
4. Tidak memperhitungkan pipa saluran curah cair.
5. Tidak memperhitungkan abutment

1.4 Tujuan

Tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah merencanakan struktur dermaga dengan kapasitas kapal 10.000 DWT yang aman dan efisien.

1.5 Manfaat

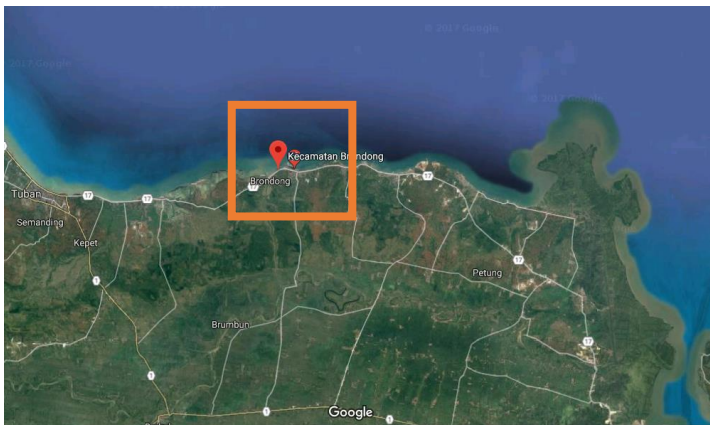
Manfaat yang diperoleh dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan suatu desain dermaga yang menampung kapal dengan kapasitas 10.000 DWT

2. Menambah wawasan dan pengalaman mengenai perencanaan struktur dermaga
3. Sebagai bahan referensi dalam merencanakan struktur dermaga bagi pembaca.

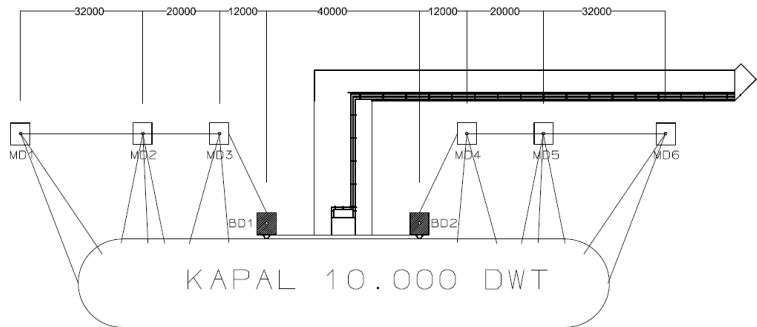
1.6 Lokasi Proyek

Letak Geografis : Sedayulawas, Brondong, Lamongan,
Jawa Timur



Gambar 1. 1 Peta lokasi proyek

1.7 Layout Dermaga



Gambar 1. 2 Layout dermaga 10.000 DWT

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum

Dalam perencanaan struktur dermaga, terdapat beberapa langkah yang harus dikerjakan. Tahap pertama yang akan dikerjakan meliputi penetapan dimensi dermaga dan dimensielemen struktur. Dilanjutkan dengan tahap kedua yaitu perencanaan pembebanan. Pada tahap ketiga adalah penulangan elemen struktur dan tahap keempat adalah perhitungan daya dukung pondasi.

Pada tahap pertama meliputi penetapan panjang, lebar dan elevasi dermaga dengan acuan yang digunakan adalah **Desain Kriteria Perencanaan Pelabuhan, Direktorat Jendral Perhubungan Laut Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 1984**. Dilanjutkan dengan perencanaan struktur elemen plat, balok, dan tiang pancang yang menggunakan acuan **Panduan Perencanaan Teknik Jembatan BMS 1992**.

Pada tahap kedua yaitu perencanaan pembebanan meliputi beban Vertikal dan beban horizontal. Beban vertikal yang terjadi adalah beban mati dan beban hidup, sedangkan beban horizontal lterdiri dari beban tumbukan kapal, beban tambat kapal dan beban gempa. Perencanaan pembebanan yang dilakukan menggunakan acuan *Standard Design Criteria for Ports in Indonesia 1984*, **Panduan Perencanaan Teknik Jembatan BMS 1992**, *Technical Standards for Ports and Harbour Facilities in Japan, 1980*, dan *Bridgestone Manual Fender Design*.

Tahap ketiga adalah penulangan elemen struktur di mana pada tahap ini digunakan acuan **Perencanaan Penulangan Berdasarkan Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971, SKSNI T-15-1991-03**, dan **Panduan Perencanaan Teknik Jembatan BMS 1992**. Dan pada tahap keempat adalah perhitungan daya dukung pondasi, dengan pembebanan yang

diperoleh dari permodelan struktur yang telah dilakukan dan perhitungan daya dukung tiang pancang berdasarkan hasil analisa tanah.

2.2 Perencanaan Layout Dermaga

2.2.1 Trestle

Trestle adalah bagian dari struktur jetty yang berfungsi untuk menghubungkan jetty dengan daratan apabila jetty terletak jauh dari tepi pantai. Panjang trestle ditentukan oleh panjang yang dibutuhkan untuk menghubungkan jetty sampai ke darat. Sedangkan lebar trestle ditentukan berdasarkan lalu lintas apa saja yang lewat diatasnya dan fasilitas yang akan dipasang diatasnya.

2.2.2 Platform

Platform adalah bagian dermaga berupa pelat sebagai tempat peralatan bongkar-muat seperti marine loading arm dan pipa untuk bongkar muat curah cair. Dimensi utama dari unloading platform ditentukan oleh jarak yang dibutuhkan marine loading arm. Jarak minimum antar marine loading arm adalah 3-4,5 m. dimensi umum dari loading platform biasanya 20 x 35 m².

2.2.3 Berthing dolphin

Berthing dolphin adalah tempat merapat kapal di mana pada breating dolphin terletak fender yang berfungsi sebagai penahan benturan kapal. Adapun perhitungan jarak bentang minimum antar berthing dolphin, berdasarkan *Oil Company International Marine Forum (OCIMF)*, dihitung dengan rumus berikut:

Untuk dermaga dengan kapal berbagai tipe DWT:

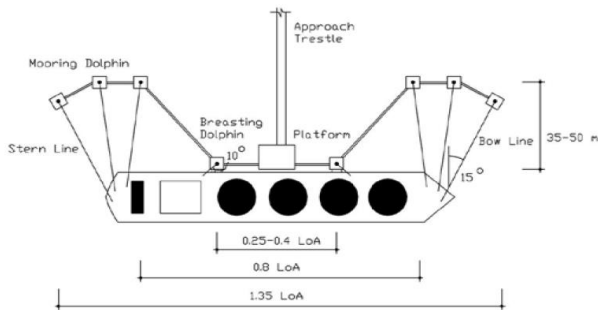
$$As \text{ to } As = (0,25 - 0,4) \times LOA \dots\dots\dots (2-1)$$

2.2.4 Mooring dolphin

Mooring dolphin adalah bagian struktur dermaga yang berfungsi untuk menahan gaya tarikan kapal. Pada mooring dolphin dilengkapi dengan bollard yang berfungsi sebagai tempat mengikat tali yang bersambung ke kapal. Jarak antar mooring dolphin ditentukan dengan ketentuan :

$$As \text{ to } As = (0,8 - 1,35) \times LOA \dots\dots\dots (2-3)$$

Penempatan mooring dolphin harus diatur sedemikian rupa sehingga sudut horizontal yang dibutuhkan oleh tali tidak melebihi ketentuan yang berlaku. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 1 Layout standard dermaga

2.3 Penetapan Elevasi Dermaga dan Dimensi Elemen Struktur

2.3.1 Elevasi dermaga

Berdasarkan **Desain Kriteria Perencanaan Pelabuhan, Direktorat Jenderal Perhubungan Laut Direktorat Pelabuhan dan Pengerukan, 1984, Halaman 5**, ditentukan besarnya elevasi dermaga di atas HWS berdasarkan besarnya pasang surut air laut dan kedalaman air rencana sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Elevasi lantai dermaga diatas HWS

| | Pasang surut \geq 3 meter | Pasang surut $<$ 3 meter |
|--|--------------------------------|-----------------------------|
| Dermaga untuk kapal – kapal yang memerlukan kedalaman air $\geq 4,5$ | 0,5 – 1,5 m | 1,0 – 3,0 m |
| Dermaga untuk kapal – kapal yang memerlukan kedalaman air $< 4,5$ m | 0,3 – 1,0 m | 0,5 – 1,5 m |

2.3.2 Dimensi pelat lantai

Perhitungan kekuatan pelat lantai dermaga terlentur berdasarkan *SNI T-12-2004 hal. 38*, harus mempunyai tebal minimum:

$$ts \geq 200 \text{ mm}$$

$$ts \geq 100 + 40 L \text{ mm}$$

Dengan :

ts = tebal pelat lantai (mm)

L = bentang pelat lantai antara pusat tumpuan (m)

2.3.3 Dimensi gelagar rencana

Pada sebuah dermaga, terdapat gelagar di bawah plat lantai yang terdiri dari balok melintang dan balok memanjang. Dalam perencanaan gelagar tersebut digunakan acuan *Bridge Design Manual BMS part 3 section 5 hal. 5-4* yang menyebutkan bahwa tinggi efektif balok dengan kekakuan memadai direncanakan berdasarkan ketentuan berikut ini :

$$D \geq 165 + 0,06L \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

Dengan :

D = tinggi gelagar

L = Panjang gelagar

Tinggi gelagar menerus adalah 90% dari tinggi bentang sederhana di atas.

Kontrol Kelangsingan Balok

Berdasarkan **Panduan Perencanaan Teknik Jembatan BMS 1992 pasal 6.5.8.2 hal 6-47**, kontrol kelangsingan minimum gelagar digunakan rumus sebagai berikut :

$$\frac{Lt}{beff} \leq 240 \frac{beff}{D} \dots\dots\dots (2-5)$$

$$\frac{Lt}{beff} \leq 60 \dots\dots\dots (2-6)$$

Dengan :

Lt = jarak antar balok melintang (mm)

beff = Lebar balok (mm)

D = Tinggi total balok (mm)

2.3.4 Dimensi tiang pancang rencana

Jenis pondasi pada struktur bangunan bawah direncanakan menggunakan tiang pancang. Dalam perencanaan dimensi tiang pancang dilakukan *trial and error* dengan menggunakan aplikasi SAP 2000, di mana dalam proses ini di cari kemungkinan model struktur yang mengalami defleksi terkecil, dengan mempertimbangkan :

- Model struktur potongan melintang
- Susunan tiang pancang
- Jumlah tiang pancang
- Modifikasi dimensi tiang pancang

2.3.5 Dimensi pile cap (poer)

Poer (Pile Cap) yang berfungsi untuk sebagai konstruksi penahan eksentrisitas di lapangan. Penentuan ini dimensi poer dalam perencanaanya mengandalkan kekakuan pile cap. Sedangkan dalam pemasangan tiang pancang diperhitungkan pengaruh korosi. Berdasarkan **Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan BMS 1992, pasal 4.5.7.9 hal 4-40** adalah daerah pasang surut derajat korosi untuk perencanaan dapat digunakan dua kali 0,08 mm.

2.4 Perencanaan Fender

Fender berfungsi sebagai penahan beban tumbukan kapal pada waktu merapat serta mengubah beban akibat tumbukan menjadi gaya reaksi yang mampu diterima oleh konstruksi dan kapal secara aman. Berikut adalah langkah-langkah dalam merencanakan fender.

2.4.1 Menghitung energi tumbukan kapal

Energi tumbukan kapal dapat dihitung dengan rumus :

$$E_f = W_s \cdot \frac{v}{2 \cdot g} \cdot C_m \cdot C_E \cdot C_C \cdot C_S \dots\dots\dots (2-11)$$

Dengan :

W_s = displacement tonnage (ton)

v = kecepatan sandar kapal (m/s)

C_b = koefisien blok kapal, dihitung dengan :

$$C_b = \frac{W}{L_{pp} \cdot B \cdot d \cdot \rho} \dots\dots\dots (2-12)$$

B = lebar kapal (m)

d = draft kapal (m)

ρ = massa jenis air laut = 1,025 t/m³

Lpp = length between perpendicular (m)

$$Lpp = 0,852 \times Lo a^{1,0201} \dots\dots\dots (2-13)$$

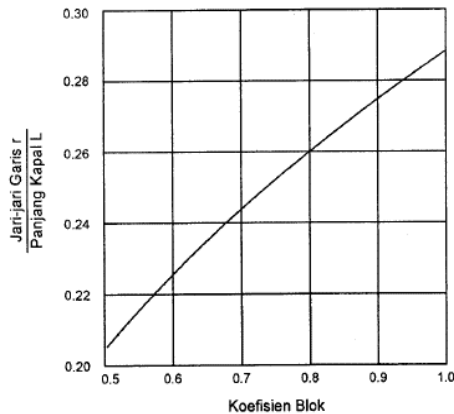
Cm = koefisien massa, dihitung dengan :

$$Cm = 1 + \frac{(\pi \cdot d)}{2 \cdot Cb \cdot B} \dots\dots\dots (2-14)$$

C_E = koefisien eksentrisitas, merupakan koefisien perbandingan antara energi yang tersisa akibat merapatnya kapal terhadap energy kinetic waktu kapal merapat. C_E dihitung dengan :

$$C_E = \frac{1}{1 + (l/r)^2} \dots\dots\dots (2-15)$$

Dari rumus diatas, dibutuhkan harga *l* dan *r*, di mana rasio *r/L* didapatkan dari grafik dibawah ini:



Gambar 2. 2 Grafik rasio *r/L*

r = jari-jari perputaran dengan pusat c.g kapal.
panjang jari-jari c.g sampai titik tumbuk.

l = jarak terpendek antara centre of gravity (c.g) kapal sampai ke titik tumbuknya, yaitu sebesar $1/6$ Loa

C_C = Configuration Coefficient adalah koefisien untuk konfigurasi struktur tambatan dalam rangka memperhitungkan adanya efek bantalan air. Efek ini timbul karena adanya massa air yang terjepit antara posisi kapal merapat dengan tambatan. Bila tambatan konstruksi solid (misalnya = kade) maka adanya efek bantalan akan mengurangi energy tumbukan, sedang pada konstruksi *Open pier* atau *Jetty* tidak membentuk bantalan.

$C_C = 0,8$ untuk kade, wharf

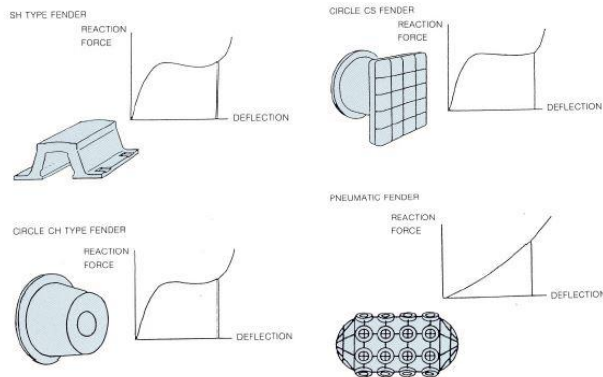
$C_C = 1$ untuk jetty, open pier

C_S = Softness Coefficient adalah koefisien untuk mengantisipasi pengaruh deformasi elastic terhadap badan kapal maupun konstruksi tambatan.

$C_S = 1,0$ (kapal baja)

2.4.2 Pemilihan tipe fender

Ada berbagai type bahan untuk fender diantaranya kayu, beton dan karet. Dari ketiga jenis bahan tersebut bahan karet memiliki kemampuan menyerap energi yang paling efektif, murah dan mudah dipasang. Gambar berikut menunjukkan macam – macam bentuk fender.



Gambar 2. 3 Macam tipe fender (sumber: *Doshin Rubber Fender*)

2.5 Perencanaan Bollard

Bollard merupakan fasilitas tambat pada suatu dermaga yang berfungsi sebagai tambatan kapal saat merapat di dermaga. Perencanaan bollard ini berkaitan dengan adanya gaya tarikan kapal yang harus disediakan agar dapat melayani kapal rencana.

2.5.1 Pemilihan bollard

Pemilihan tipe bollard disesuaikan dengan gaya tambat kapal sesuai dengan ukuran kapal rencana dan dibandingkan dengan gaya pada kapal akibat angin dan arus yang terjadi.

2.5.1.1 Gaya tambat kapal

Berikut adalah tabel yang menunjukkan kebutuhan kapasitas bollard berdasarkan kapal rencana yang akan bertambat dan hubungannya dengan kapasitas bollard berdasarkan *Standard Design Criteria for Ports in Indonesia* tabel 5.2.

Tabel 2. 2 Kebutuhan kapasitas bollard berdasarkan kapal rencana

| Gross tonnage of vessel (ton) | Tractive force on bollard (ton) |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 200 - 500 | 10 |
| 501 - 1000 | 15 |
| 1001 - 2000 | 15 |
| 2001 - 3000 | 25 |
| 3001 - 5000 | 25 |
| 5001 - 10.000 | 35 |
| 10001 - 15000 | 50 |
| 15001 - 20000 | 50 |
| 20001 - 10.0000 | 70 |

2.5.1.2 Gaya akibat angin

Gaya akibat angin pada badan kapal yang ada di atas air dihitung dengan rumus:

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C \cdot V^2 \cdot (A \cdot \cos^2 \theta + B^2 \cdot \sin^2 \theta) \quad \dots\dots\dots (2-16)$$

Dimana :

P_w = gaya resultan akibat pengaruh angin (kg)

ρ = kepadatan udara = $0,123 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$

C = koefisien tekanan angin = 1,135

V = kecepatan angin (m/s)

A = luasan muka kapal di atas air

B = luasan badan kapal di atas air

θ = sudut arah datang angin terhadap sumbu memanjang kapal

Gaya yang terjadi harus dihitung pada angin kondisi normal dan badai dengan disesuaikan pada arah datang angin pada sisi kapal yang menahan angin tersebut.

2.5.1.3 Gaya akibat arus

Tekanan arus pada badan kapal yang ada di bawah air dihitung dengan:

$$P_c = C_c \cdot \gamma_c \cdot A_c \cdot \frac{V_c^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (2-17)$$

Di mana:

P_c = tekanan arus pada kapal (ton)

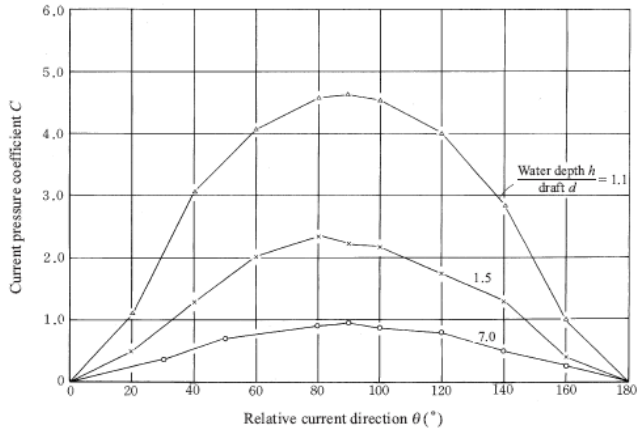
γ_c = berat jenis air laut = 1,025 t/m³

A_c = Luas kapal di bawah muka air (m²), dihitung pada empat kondisi, kapal penuh dan kapal kosong dengan masing masing ditinjau sisi depan dan samping kapal

V_c = Kecepatan arus

C_c = Koefisien tekanan arus.

Berdasarkan *Technical Standarts And Commentaries For Port and Harbour Facilities in Japan*, koefisien arus dapat diketahui dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 2.4 berikut.



Gambar 2. 4 Grafik koefisien arus

Untuk arus tegak lurus kapal, $C_c = 1,5$

Untuk arus sejajar kapal, $C_c = 0,6$

2.5.2 Sambungan bollard

Agar bollard bisa menyatu dengan struktur dermaga, maka digunakan sambungan baut - bollard. Adapun tahapan perencanaan sambungan baut meliputi perhitungan control tegangan izin baut yang disyaratkan menurut **Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 pasal 8.2.1**, di mana :

- Tegangan geser izin :

$$\tau_{izin} = 0,6 \cdot \sigma_d \quad \dots\dots\dots (2-18)$$

- Tegangan tarik izin :

$$\sigma_{ta} = 0,7 \cdot \sigma_d \quad \dots\dots\dots (2-19)$$

- Tegangan tumpu izin :

$$\sigma_{tu} = 1,5 \cdot \sigma_d \quad \dots\dots\dots (2-20)$$

Gaya tarik yang bekerja pada bollard disesuaikan dengan sudut tali yang terjadi.

$$T' = T \cdot \sin \theta^\circ \text{ (ton)} \quad \dots\dots\dots (2-21)$$

$$T'' = T \cdot \cos \theta^\circ \text{ (ton)} \quad \dots\dots\dots (2-22)$$

Kemudian dilakukan perhitungan kontrol kekuatan baut terhadap momen yang terjadi akibat gaya horizontal dan gaya vertikal.

- Kontrol kekuatan baut akibat gaya horizontal

$$R_h = T'' / n_b \text{ (jumlah baut)} \quad \dots\dots\dots (2-22)$$

$$M = R_h \cdot h \quad \dots\dots\dots (2-23)$$

- Kontrol kekuatan baut akibat gaya vertikal

$$R_{v1} = T' / n_b \quad \dots\dots\dots (2-24)$$

$$R_{v2} = M / 2a \quad \dots\dots\dots (2-25)$$

$$R_v = R_{v1} + R_{v2} \quad \dots\dots\dots (2-26)$$

Penjangkaran bollard

Penjangkaran bollard dilakukan dengan perhitungan kekuatan tiap baut angker terhadap R_h dan R_v yang terjadi.

$$\begin{aligned} T_b &= \text{kekuatan tarik 1 baut} \\ &= K_{\text{ank}} \times L_{\text{ank}} \times \sigma'_b \quad \dots\dots\dots (2-27) \end{aligned}$$

Di mana :

K_{ank} = keliling baut

L_{ank} = panjang angker

σ'_b = tegangan izin beton = $0,48\sqrt{f'_c}$

2.6 Pembebanan

Pada struktur dermaga, beban-beban yang terjadi meliputi beban vertikal (Berat sendiri, beban lantai dan balok) serta beban

horizontal (benturan kapal, tambatan kapal, gaya gempa, gaya gelombang). Dilakukan perhitungan menggunakan input aplikasi SAP 2000 untuk mengetahui gaya geser aksial (shear Force), momen dan torsi yang terjadi.

2.6.1 Pembebanan pada catwalk

Pada catwalk, beban yang terjadi hanyalah beban vertikal yang meliputi :

- a. Beban mati merata
 - Beban plat lantai baja
 - Berat profil WF sebagai balok memanjang dan melintang
- a. Beban mati terpusat
 - Beban tiang sandaran
- b. Beban hidup merata
 - Beban air hujan dihitung dengan asumsi ketebalan genangan air setinggi 5 cm
- c. Beban hidup terpusat
 - Beban pejalan kaki sebesar 0,2 ton

2.6.2 Pembebanan pada platform

2.6.2.1 Beban vertikal

- a. Beban mati merata
 - Berat UDL. Berdasarkan *Standart Design Criteria for Ports in Indonesia (1984)*, berat UDL adalah 3 t/m³
- b. Beban hidup merata
 - Beban air hujan, dihitung dengan asumsi ketebalan genangan air setinggi 5 cm.
- c. Beban mati terpusat

- Beban marine loading arm (MLA) adalah bagian dari dermaga yang berfungsi sebagai pemompa minyak baik dari storage menuju kapal ataupun sebaliknya. Berat MLA disesuaikan dengan spesifikasi MLA yang di pakai dalam perencanaan.
- Beban monitoring house, Monitoring house merupakan bangunan sederhana yang berfungsi sebagai ruang monitoring bagi petugas dermaga. Beban monitoring house dihitung dengan kalkulasi langsung dari berat bahan struktur terhadap dimensi yang digunakan.
- Beban rangkaian sistem perpipaan curah cair yang terdiri dari pipa,udukan pipa, komponen pengikat dan penyangga, serta berat curah cair sendiri.

2.6.2.2 Beban horizontal

- a. Beban gempa. Dalam perencanaan dermaga, pengaruh gempa diperhitungkan dengan tujuan agar dermaga tersebut mampu menahan gempa yang terjadi. Berdasarkan RSNI 2833-2013, beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastik (Csm) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan dengan faktor modifikasi respon (R). Adapun perhitungan beban gempa dilakukan sebagai berikut :

$$EQ = Csm/R \times Wt \quad \dots\dots\dots (2-28)$$

Di mana :

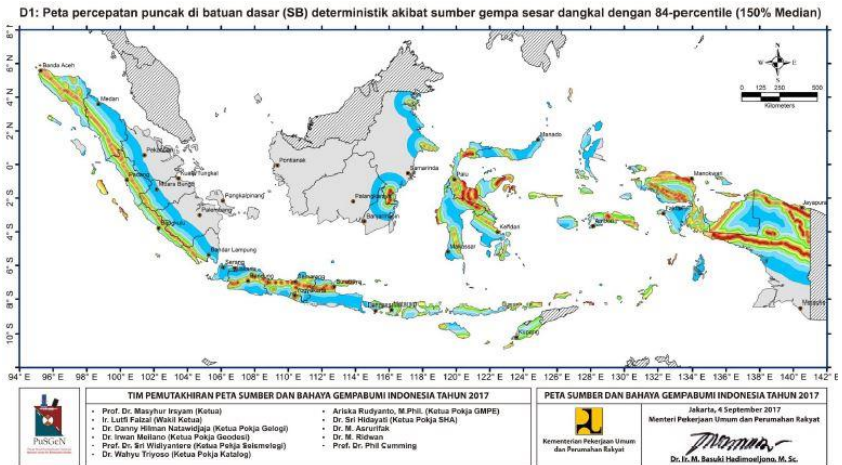
EQ = gaya gempa horizontal (kN)

Csm = koefisien respon gempa elastik pada
moda getar ke-m

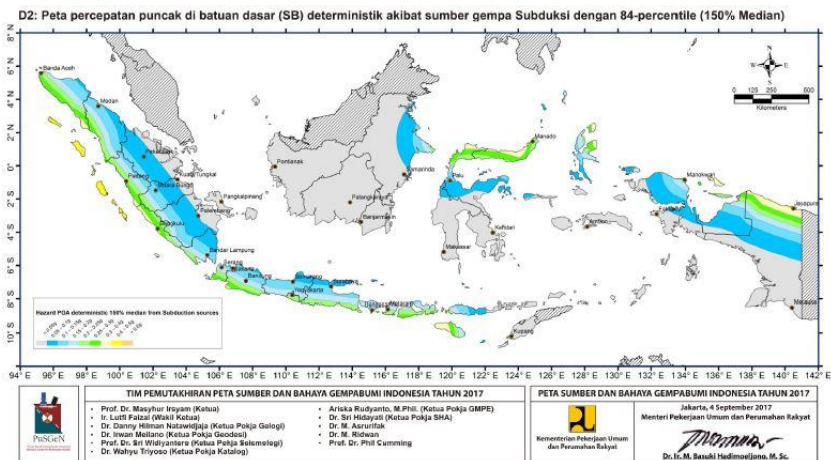
R = faktor modifikasi respon

W_t = berat total struktur (kN)

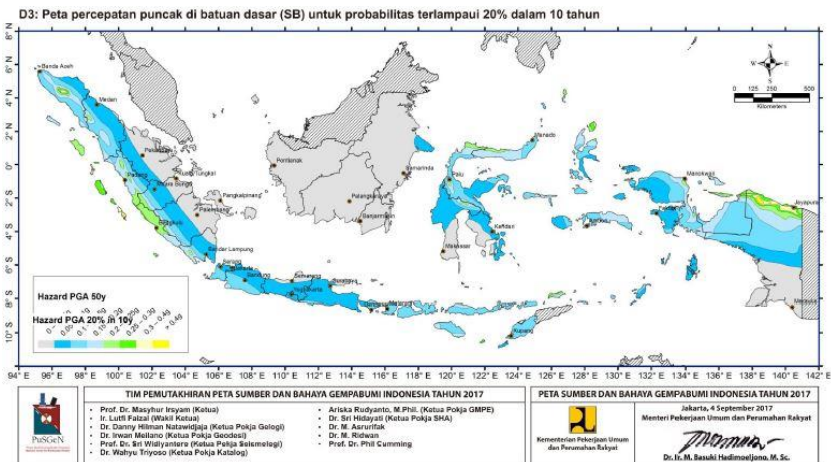
Koefisien respon elastik C_{sm} diperoleh dari peta percepatan betuan dasar dan spektra percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana.



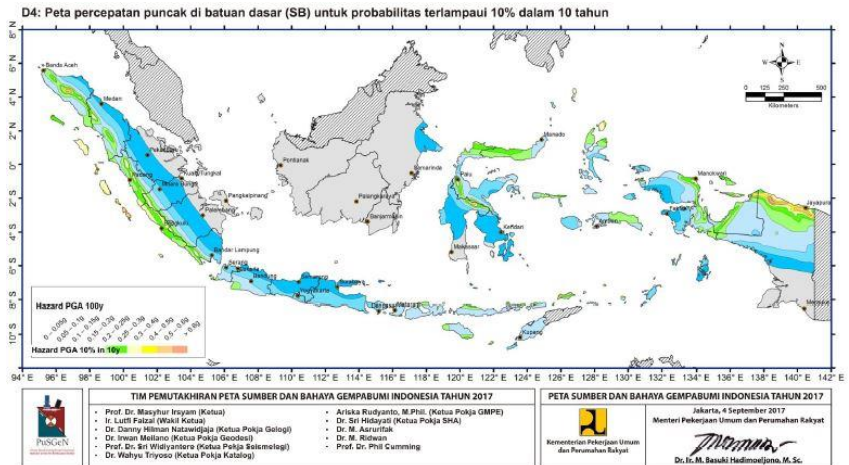
Gambar 2. 5 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) deterministik akibat sumber gempa sesar dangkal dengan 84 percentile (150 Median)



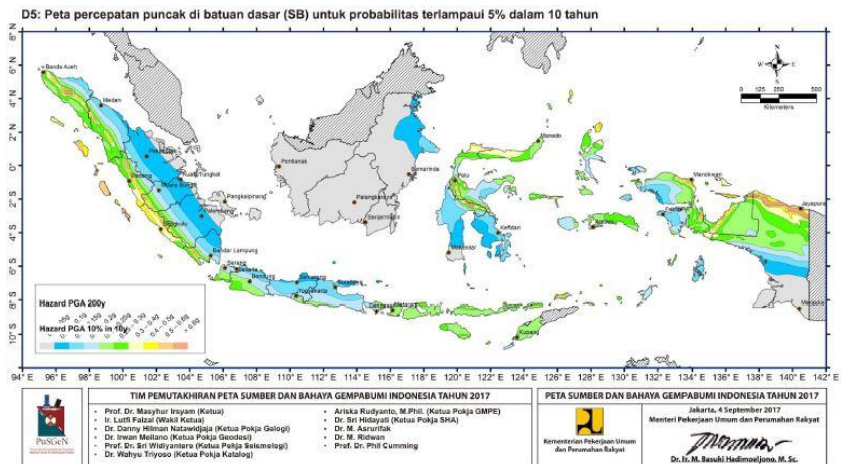
Gambar 2. 6 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) deterministik akibat sumber gempa subduksi dengan 84 percentile (150 Median)



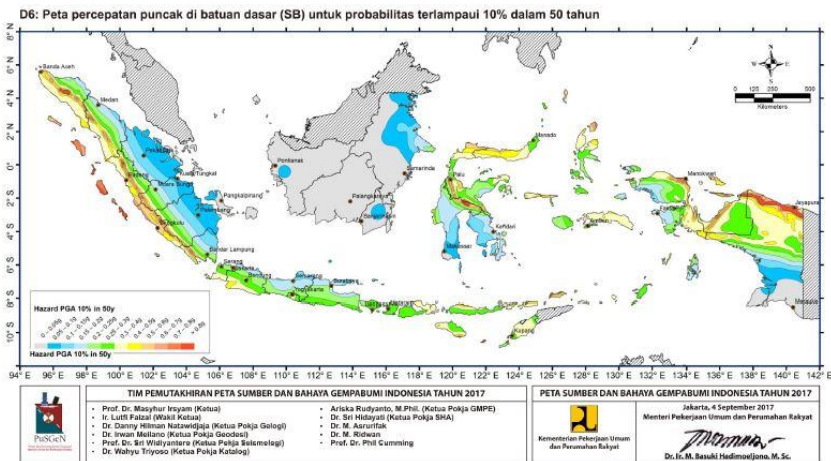
Gambar 2. 7 Peta percepatan di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 20% dalam 10 tahun



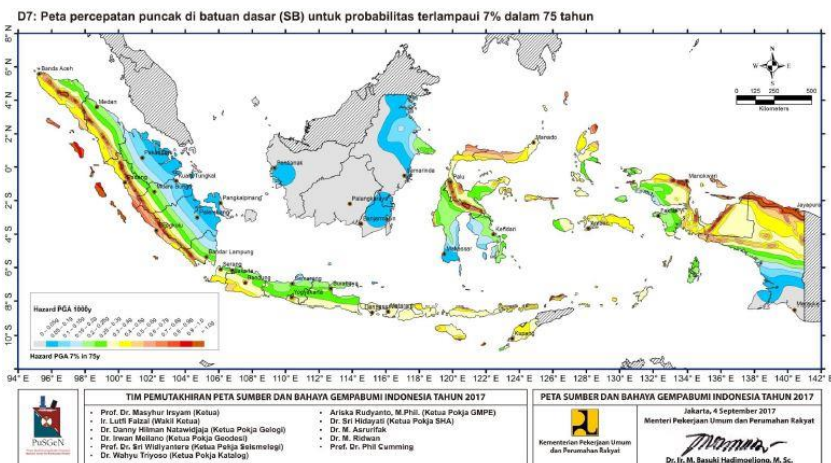
Gambar 2. 8 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 10 tahun



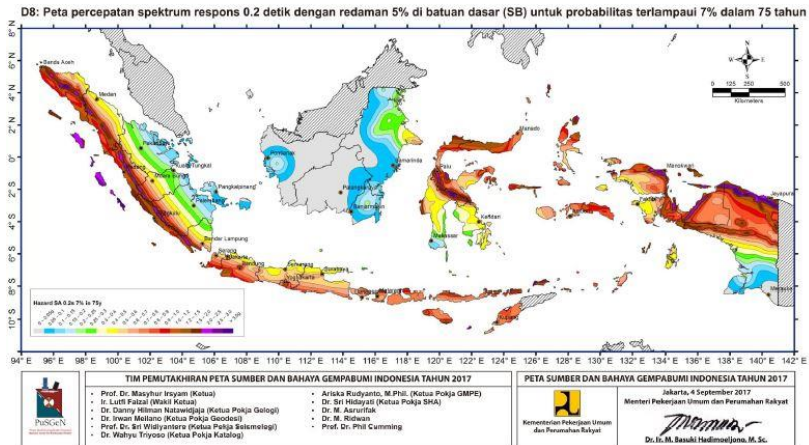
Gambar 2. 9 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 10 tahun



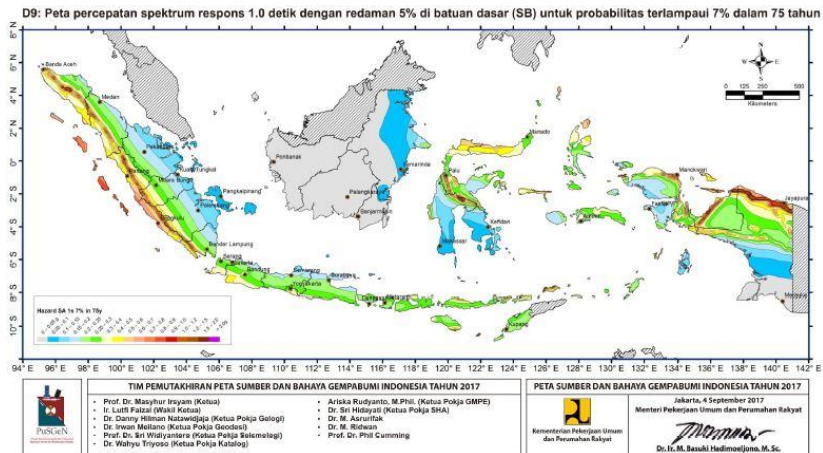
Gambar 2. 10 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun



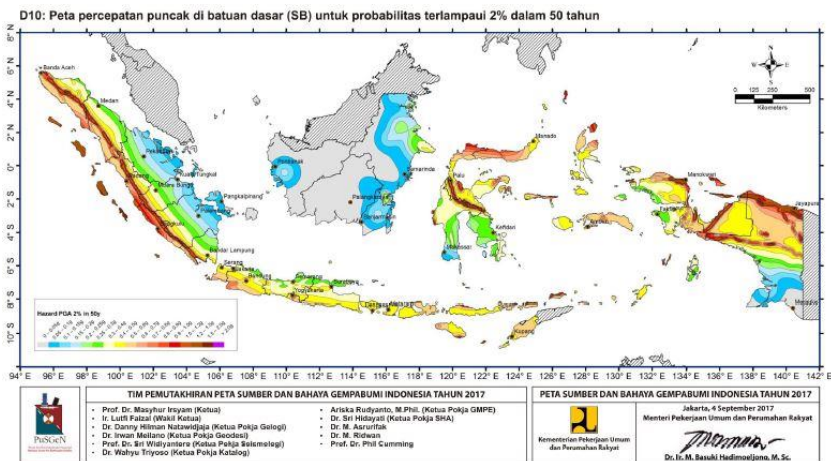
Gambar 2. 11 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun



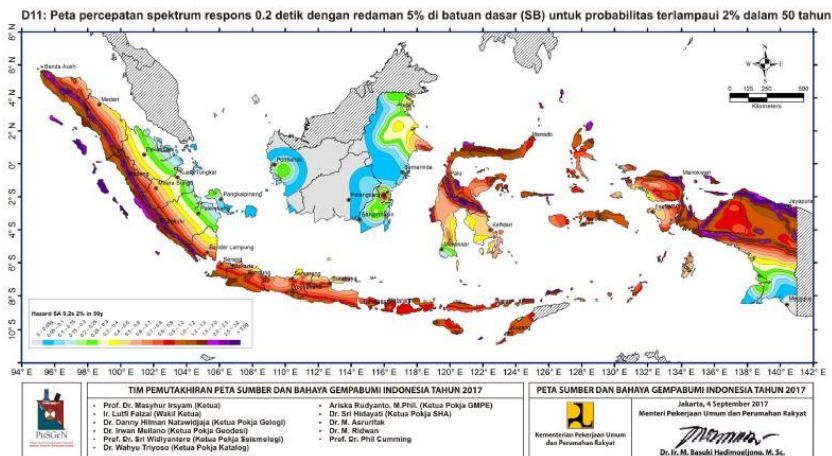
Gambar 2. 12 Peta percepatan spektrum respons 0,2 detik dengan redaman 5% di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun



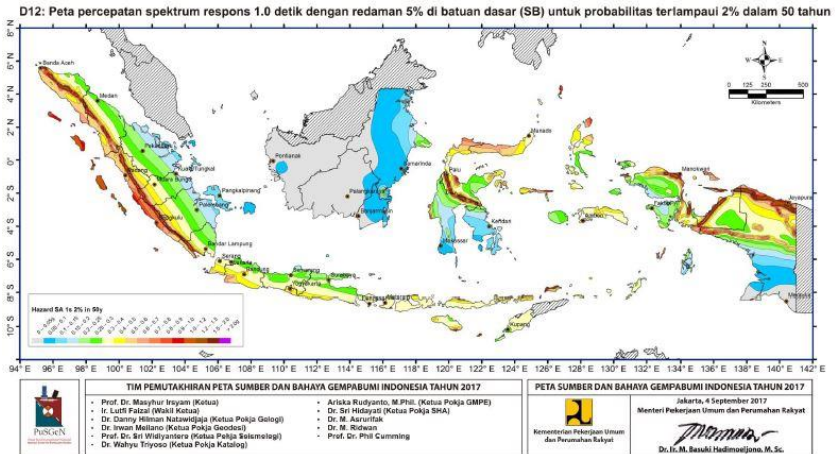
Gambar 2. 13 Peta percepatan spektrum respons 0,1 detik dengan redaman 5% di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun



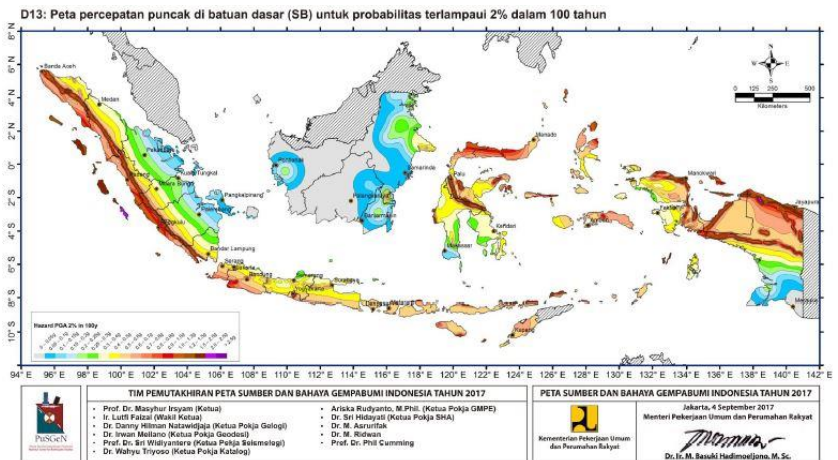
Gambar 2. 14 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun



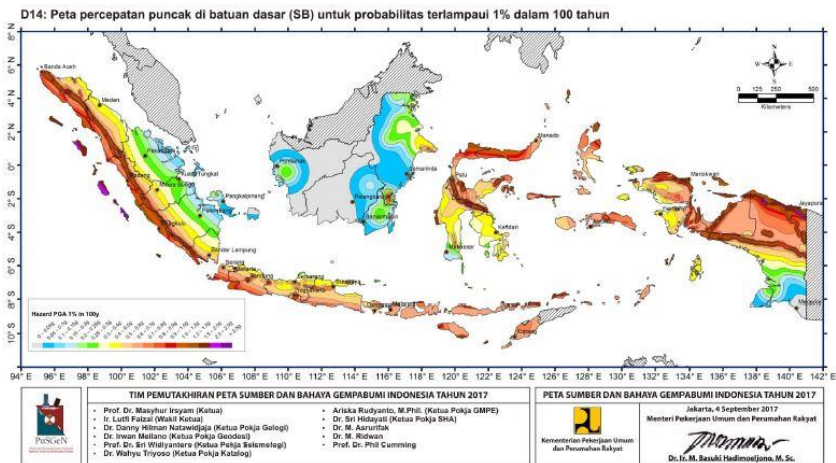
Gambar 2. 15 Peta percepatan spectrum respons 0,2 detik dengan redaman 5% di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun



Gambar 2. 16 Peta percepatan spectrum respons 0,1 detik dengan redaman 5% di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun



Gambar 2. 17 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 100 tahun



Gambar 2. 18 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 1% dalam 100 tahun

2.6.3 Pembebanan pada mooring dolphin

2.6.3.1 Beban vertikal

- Beban mati merata
 - Berat UDL. Berdasarkan *Standart Design Criteria for Ports in Indonesia (1984)*, berat UDL adalah 3 t/m^3
- Beban hidup merata
 - Beban air hujan, dihitung dengan asumsi ketebalangan air setinggi 5 cm.
- Beban mati terpusat
 - Beban sendiri bollard. Beban bollard disesuaikan dengan spesifikasi bollard yang diambil.

2.6.3.2 Beban horizontal

- Beban gempa. Beban gempa pada mooring dolphin dihitung secara dinamis pada respon spektrum SAP 2000 seperti yang dilakukan pada platform.

- b. Beban tarikan kapal. Kapal yang merapat di dermaga akan ditambat dengan menggunakan tali ke alat penambat yang disebut bollard. Pengikatan ini dimaksudkan untuk menahan gerakan kapal yang disebabkan oleh angin dan arus.

2.6.4 Pembebanan pada berthing dolphin

2.6.4.1 Beban vertikal

- a. Beban mati merata
 - Berat UDL. Berdasarkan *Standart Design Criteria for Ports in Indonesia (1984)*, berat UDL adalah 3 t/m^3
- b. Beban hidup merata
 - Beban air hujan, dihitung dengan asumsi ketebalan benangan air setinggi 5 cm.
- c. Beban mati terpusat
 - Beban sendiri fender. Beban fender disesuaikan dengan spesifikasi bollard yang diambil.
 - Beban bollard karena berthing dolphin juga dijadikan sebagai tempat bertambatnya tali kapal untuk sementara sebelu, pengikatan tetap pada mooring dolphin.

2.6.4.2 Beban horizontal

- a. Beban gempa. Beban gempa pada berthing dolphin dihitung secara dinamis pada respon spektrum SAP 2000 seperti yang dilakukan pada platform.
- b. Beban reaksi fender. Pada saat merapat ke dermaga, kapal masih mempunyai kecepatan sehingga akan terjadi benturan antara kapal dan dermaga. Gaya yang ditimbulkan oleh benturan tersebut disebut berthing force (gaya sandar) yang selanjutnya akan ditahan oleh fender sehingga terjadi gaya reaksi fender.

2.6.5 Pembebanan pada trestle

2.6.5.1 Beban vertikal

- a. Beban mati merata
 - Berat UDL. Berdasarkan *Standart Design Criteria for Ports in Indonesia (1984)*, berat UDL adalah 3 t/m^3
- b. Beban hidup merata
 - Beban air hujan, dihitung dengan asumsi ketebalan genangan air setinggi 5 cm.
 - Beban angin. Beban angin pada trestle terjadi pada kendaraan yang melalui trestle sehingga menciptakan gaya horizontal yang diteruskan roda ke trestle. Beban angin tersebut dihitung dengan persamaan berikut.

$$P_{ew} = (h/2)/1,75.T_{ew} \dots\dots\dots (2-29)$$

Dengan :

T_{ew} = gaya nominal jembatan akibat angin.

$$T_{ew} = 0,0012 \cdot V_w^2 \cdot C_w \dots\dots\dots (2-30)$$

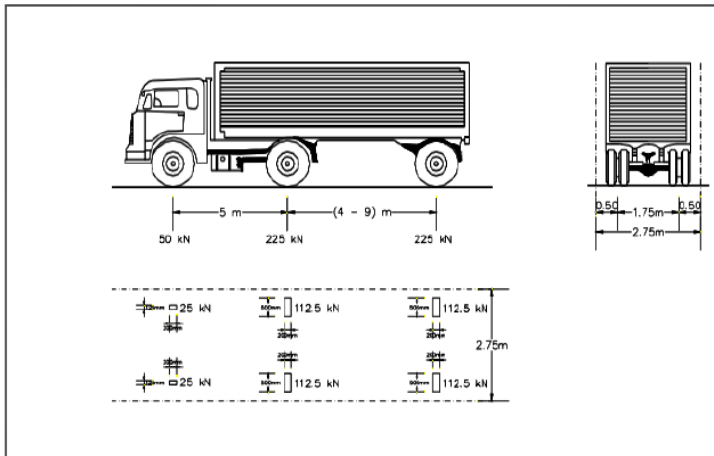
Di mana :

V_w = kecepatan angin (m/s)

C_w = koefisien seret, ditentukan sesuai table 27 RSNI T 02 2005 berikut.

- c. Beban mati terpusat
 - Beban rangkaian sistem perpipaan curah cair yang terdiri dari pipa, dudukan pipa, komponen pengikat dan penyangga, serta berat curah cair sendiri.
 - Beban pagar pengaman
 - Beban truk

Beban truk berdasarkan **SNI 1725-2016 Standar Pembebanan untuk jembatan pasal 8.4.1** adalah beban yang diakibatkan oleh kendaraan semitrailer yang mempunyai susunan berat as seperti terlihat pada gambar berikut:



2.6.5.2 Beban horizontal

- a. Beban gempa. Beban gempa pada berthing dolphin dihitung secara dinamis pada respon spektrum SAP 2000 seperti yang dilakukan pada platform.

2.6.6 Kombinasi pembebanan

Dalam perencanaan ini, kombinasi pembebanan yang digunakan merujuk pada SNI 1725-2016 dengan rincian sebagai berikut :

- a) Kondisi Operasional
 - Layan
 - 1) 1DL + 1LL
 - 2) 1DL + 1LL + 1WL
 - Ultimit

- 1) $1,3 \text{ DL} + 1,8 \text{ LL}$
- 2) $1,3 \text{ DL} + 1,8 \text{ LL} + 1,2 \text{ WL}$
- b) Kombinasi kapal sandar
 - Layan
 - 1) $1 \text{ DL} + 1 \text{ LL}$
 - Ultimit
 - 2) $1,3 \text{ DL} + 1,8 \text{ LL}$
- c) Kondisi gempa (Ultimit)
 - 1) $1,3 \text{ DL} + 1 \text{ LL} + 1 \text{ EQX} + 0,3 \text{ EQY}$
 - 2) $1,3 \text{ DL} + 1 \text{ LL} + 0,3 \text{ EQX} + 1 \text{ EQY}$

Di mana :

DL = Deal Load (beban mati)

LL = Live Load (beban hidup)

EQX = beban gempa yang bekerja pada arah X

EQY = beban gempa yang bekerja pada arah Y

2.7 Perencanaan Struktur Catwalk

2.7.1 Kontrol penampang

Berdasarkan RSNI T-03-2015, Perhitungan kekompakan penampang dihitung dengan memperhatikan kekompakan dari web (badan) dan flens (sayap) profil yang dihitung dengan:

- Web

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \quad \dots\dots\dots (2-31)$$

- Flens

$$\frac{b}{2.t_f} \leq \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad \dots\dots\dots (2-32)$$

2.7.2 Kontrol tekuk lateral

Profil baja perlu di cek kekompakannya agar mampu untuk menahan tekuk ke samping dari bagian yang tertekan. Kontrol tekuk lateral dihitung dengan persamaan:

$$\phi M_n > M_u$$

Di mana :

$$M_n = Z_x \cdot f_y \quad \dots\dots\dots (2-32)$$

2.7.3 Kontrol lendutan terjadi

Berdasarkan **SNI 03-1729-2002 pasal 6.4.3**, lendutan terjadi harus lebih kecil dari lendutan izin yang dihitung dengan:

$$L/360 \quad \dots\dots\dots (2-33)$$

Di mana L merupakan panjang bentang catwalk

2.7.4 Sambungan balok girder catwalk

Suatu komponen struktur baja yang panjang terkadang menimbulkan kesulitan dalam proses transportasi dari lokasi pabrik/workshop menuju lokasi proyek. Permasalahan tersebut biasanya dapat diselesaikan dengan membagi elemen-elemen struktur baja menjadi elemen struktur yang lebih kecil dan kemudian dilakukan perakitan di lapangan menggunakan sistem sambungan lewatan. Adapun panjang bentang baja yang tersedia pada umumnya adalah 12 meter sehingga perlu dilakukan penyambungan bentang pada tiap panjang 12 meter.

Sambungan antar girder dilakukan dengan penambahan plat pada bagian badan dan sayap profil. Adapun perhitungan sambungan dilakukan dengan metode sebagai berikut.

$$M = \phi_b \cdot M_n$$

$$V_u = \phi_c \cdot V_n \quad \dots\dots\dots (2-34)$$

Di mana:

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot h \cdot t_w \quad \dots\dots\dots (2-35)$$

Diasumsikan 90% momen lentur yang terjadi dipikul oleh plat sambung sayap (sayap) dan 10% dipikul oleh plat sambung badan (web).

- Plat sambung sayap

$$F_f = M / (d + t_{pf}) \quad \dots\dots\dots (2-36)$$

Di mana :

M = momen yang di tanggung sayap (90%.M)

d = tinggi profil

t_{pf} = tebal plat sambung

Baut yang direncanakan harus dihitung ketahanannya terhadap geser dan tumpu.

$$\text{Geser} = \phi \cdot 0,5 \cdot f_{ub} \cdot m \cdot A_b \quad \dots\dots\dots (2-37)$$

$$\text{Tumpu} = \phi \cdot 2,4 D_b \cdot t_{pf} \cdot f_u \quad \dots\dots\dots (2-38)$$

Di mana :

ϕ = faktor reduksi

f_{ub} = kuat putus baut

A_b = luas bidang baut

D_b = diameter baut

- Plat sambung badan

Perhitungan sambungan badan girder dilakukan dengan metode plastis dengan memperhitungkan P_n . Dalam metode ini dilakukan metode trial error untuk mengetahui panjang r_0 , di mana r_0 merupakan jarak dari pusat gaya rangkaiian baut (CG) ke pusat rotasi (IC). Perhitungan dilakukan dengan mengukur jarak dari tiap baut ke IC dengan mengasumsikan r_0 hingga nilai $P_n = P_n'$. Di mana :

$$P_n = \sum R_i \cdot X_i / d_i \quad \dots\dots\dots (2-39)$$

$$P_n' = \sum R_i \cdot d_i / (e + r_0) \quad \dots\dots\dots (2-40)$$

Periksa terhadap geser :

$$\text{Geser leleh} = \phi(0,6f_y)A_g \quad \dots\dots\dots (2-41)$$

$$\text{Geser fraktur} = \phi(0,6f_u)A_n \quad \dots\dots\dots (2-42)$$

Di mana :

A_g = luas bruto plat

A_n = luas neto plat

2.8 Analisa Struktur dan Penulangan

2.8.1 Penulangan pada plat

Perencanaan penulangan plat dihitung dengan metode momen ultimit yang didasarkan pada besar momen yang terjadi akibat beban – beban yang bekerja. Standar yang dipergunakan dalam perencanaan plat beton bertulang adalah **SNi T-12-2004**. Langkah-langkah perhitungan tulangan lentur plat lantai adalah sebagai berikut :

1. Menghitung momen terfaktor. Proses ini dilakukan dengan analisis struktur (M_u) menggunakan program bantu SAP2000.
2. Hitung momen nominal,

$$M_n = M_u / \phi \quad \dots\dots\dots (2-43)$$

Di mana ϕ adalah faktor reduksi kekuatan lentur = 0,8 (**SNi T-12-2004 pasal 4.5.2 halaman 20**)

3. Menghitung tahanan momen nominal,

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \quad \dots\dots\dots (2-44)$$

Dengan :

b = lebar pelat yang ditinjau (diambil 1 meter)

d = tebal efektif plat lantai

4. Menghitung tahanan momen minimum,

$$p_{min} = 1,4 / f_y \quad \dots\dots\dots (2-45)$$

5. Mencari tahanan momen maksimum,

$$\rho_b = \beta \cdot 0,85 \cdot \frac{f_{c'}}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \quad \dots\dots\dots (2-46)$$

Dengan :

$$\beta = 0,85 \text{ [untuk } f_{c'} \leq 30 \text{ MPa]}$$

$$\beta = 0,85 - 0,008(f_{c'} - 30) \text{ [untuk } f_{c'} > 30 \text{ MPa]}$$

(SNI T-12-2004 persamaan 5.1-1 dan 5.1-2)

$$p_{maks} = 0,75 / f_y \quad \dots\dots\dots (2-47)$$

6. Rasio tulangan yang diperlukan,

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f_{c'}}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_{c'}}} \right) \quad \dots\dots\dots (2-48)$$

7. Luas tulangan yang diperlukan

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad \dots\dots\dots (2-49)$$

8. Jarak antar tulangan,

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_t^2 \cdot b}{A_s} \quad \dots\dots\dots (2-50)$$

Dengan :

d_t = diameter tulangan

9. Cek kemampuan nominal :

$$T = A_{st} \cdot f_y \quad \dots\dots\dots (2-51)$$

Di mana :

A_{st} = luas penampang tulangan dipakai

$$a = \frac{T}{(0,85 \cdot f_c \cdot b)} \quad \dots\dots\dots (2-52)$$

$$\phi M_n = \phi \cdot T \cdot (d - a/2) \quad \dots\dots\dots (2-53)$$

10. Nilai ϕM_n harus lebih besar dari M_u

2.8.2 Kontrol stabilitas lendutan plat

Berdasarkan **Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan BMS 1992 Pasal 5.3**, lendutan untuk plat dan gelagar harus dibatasi sedemikian hingga :

- Lendutan akibat pengaruh tetap adalah dalam batas wajar, yaitu :

$$0 < \Delta < L/300 \quad \dots\dots\dots (2-54)$$

- Lendutan pada beban hidup layan, termasuk kejut, yaitu :

$$\Delta < L/360 \quad \dots\dots\dots (2-55)$$

Di mana :

Δ = lendutan yang terjadi

L = panjang bentang

2.8.3 Penulangan pada balok

Penulangan balok dermaga juga dilakukan dengan kondisi sebelum komposit (plat pracetak) maupun pada kondisi sesudah komposit, direncanakan dengan tulangan rangkap. Dalam perhitungan penulangan perlu dilakukan kontrol retak dan lendutan (baik lendutan seketika dan jangka panjang) sesuai dengan **Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan, BMS (1992) Vol. 1, pasal 5.4.2 hal 5-94**.

Penulangan pada balok diperhitungkan terhadap lentur, geser, torsi, serta lendutan yang terjadi dengan beban yang sesungguhnya serta kontrol petak pada penampang. Untuk momen, gaya lintang, dan nilai-nilai analisa mekanika lainnya diperoleh dari hasil analisis program bantu SAP 2000

2.8.3.1 Penulangan Lentur

Penentuan penulangan lentur balok dilakukan dengan cara yang sama seperti pada penulangan lentur plat. Dengan ditinjau momen ultimit pada bagian lapangan dan tumpuan balok.

2.8.3.2 Penulangan Torsi

Perhitungan tulangan torsi dihitung dengan metode sebagai berikut.

1. Penentuan keperluan tulangan torsi.

Torsi (T_u) dapat diabaikan jika lebih kecil dari :

$$\frac{\phi \sqrt{f_{cr}}}{12} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \dots\dots\dots (2-56)$$

Di mana :

A_{cp} = luas penampang balok

P_{cp} = keliling penampang balok

2. Hitung sifat-sifat tampang datar yang diperlukan (A_o) dengan menggunakan persamaan :

$$A_o = 0,85 \cdot A_{oh} \dots\dots\dots (2-57)$$

Di mana :

$$A_{oh} = x_1 \cdot y_1 \dots\dots\dots (2-58)$$

Dengan :

$$x_1 = b - 2p - D_{sengkan} \dots\dots\dots (2-59)$$

$$y_1 = h - 2p - D_{sengkan} \dots\dots\dots (2-60)$$

3. Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \cdot d} \right)^2 + \left(\frac{T_{u,ph}}{1,7 \cdot A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b \cdot d} + \frac{2\sqrt{f_{cr}}}{3} \right) \dots\dots\dots (2-61)$$

Dengan :

$$d = h - p - D_{\text{senggang}} - D_{\text{lentur}}/2 \dots\dots\dots (2-62)$$

$$p_h = 2 (x_1 + y_1) \dots\dots\dots (2-63)$$

4. Rencanakan tulangan puntir tambahan untuk menahan geser dengan menggunakan persamaan :

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yv}}{s} \cdot \cot \theta \dots\dots\dots (2-64)$$

Dengan $\phi T_n \geq T_u$

5. Tulangan puntir tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir tidak boleh kurang dari :

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yt}} \cdot \cot^2 \phi \dots\dots\dots (2-65)$$

6. Hitung luas total minimum tulangan torsi longitudinal dengan ketentuan :

$$A_{l_{min}} = \frac{5 \sqrt{f'_{ci}} \cdot A_{cp}}{12 \cdot f_{yt}} - \left(\frac{A_t}{s} \right) \cdot P_h \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yt}} \dots\dots\dots (2-66)$$

Dengan A_t/s tidak kurang dari $b_w/6f_y$

7. Luas tulangan tambahan kemudian di sebar merata ke 4 sisi balok. Namun pada sisi atas dan bawah balok, karena tamahn tulangan torsi, maka lebar efektif berubah. Sehingga perlu dilakukan perhitungan ulang dengan menggunakan lebar efektif baru.

2.8.3.3 Penulangan Geser

Perencanaan terhadap geser didasarkan pada **SNI 2847- 2013, pasal 13.**

$$\phi V_n \geq V_u \dots\dots\dots (2-67)$$

dan V_n adalah gaya geser terfaktor yang dihitung menggunakan :

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (2-68)$$

Sedangkan V_c adalah kuat geser yang disumbangkan oleh beton yang dihitung menurut :

$$V_c = 1/6\sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \quad \dots\dots\dots (2-69)$$

Cek kondisi :

Kondisi 1 :

$$V_u > \phi \cdot V_c \quad \dots\dots\dots (2-70)$$

Kondisi 2 :

$$V_u > 5 \cdot \phi \cdot V_c \quad \dots\dots\dots (2-71)$$

Kondisi 3 :

$$V_u > 0,5 \cdot \phi \cdot V_c \quad \dots\dots\dots (2-72)$$

Perhitungan tulangan geser :

$$V_s = V_n - V_c \quad \dots\dots\dots (2-73)$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad \dots\dots\dots (2-74)$$

$$\frac{A_{v_{tot}}}{s} = \frac{2 \cdot A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \quad \dots\dots\dots (2-75)$$

Sedangkan nilai A_v total minimum adalah :

$$A_v + 2A_t = 0,75\sqrt{f_c'} \frac{b_w \cdot s}{1200 \cdot f_{yv}} \quad \dots\dots\dots (2-76)$$

Dan nilai $A_v + 2A_t$ tidak boleh kurang dari :

$$\frac{1}{3} b_w \frac{s}{f_{yv}} \quad \dots\dots\dots (2-77)$$

Kontrol spasi :

$$S_{maks} = Ph/8 \text{ atau } 300 \text{ mm} \quad \dots\dots\dots (2-78)$$

2.8.4 Kontrol stabilitas balok

2.8.4.1 Kontrol retakan lentur

Retakan gelagar dianggap terkendali pada keadaan layan oleh pembagian penulangan sedemikian. Berdasarkan **Peraturan Perencanaan Tekuk Jembatan, BMS (1992) Vol 1, pasal 5.2.1a** :

1. Jarak antar pusat-pusat batang tulangan dekat permukaan tarik balok tidak boleh melebihi 200 mm.
2. Jarak dari pinggi atau dasar balok terhadap pusat batang tulangan memanjang terdekat tidak boleh melebihi 100 mm.

Untuk maksud di atas, suatu batang tulangan dengan diameter lebih kecil dari setengah diameter batang terbesar dalam penampang melintang harus diabaikan.

2.8.4.2 Kontrol Lendutan Balok

Berdasarkan Peraturan **Perencanaan Teknik Jembatan, BMS (1992) Vol 1, pasal 5.3.2a**, lendutan pada balok (dan plat) harus dibatasi sedemikian bahwa :

1. Lendutan akibat pengaruh tetap (lawan sudut atau lendutan) adalah dalam batas wajar. Yaitu :

$$0 < \Delta < L/300 \quad \dots\dots\dots (2-79)$$

2. Lendutan pada beban hidup layan, termasuk kejut, tidak melebihi :

$$\Delta < L/800 \text{ (untuk bentang)} \quad \dots\dots\dots (2-79)$$

$$\Delta < L/400 \text{ (untuk kantilever)} \quad \dots\dots\dots (2-80)$$

2.9 Perhitungan Daya Dukung Pondasi

Perhitungan menggunakan **Metode Luciano Dacourt**

Resistance ultimate didasar pondasi :

$$Q_p = \alpha \cdot (N_p \cdot K) \cdot A_p$$

Dimana :

α = Base coefficient

N_p = Harga rata-rata N-SPT disekitar 4B diatas hingga dibawah dasar tiang pondasi (B = diameter tiang pondasi)

K = Koefisien karateristik tanah

12t/m² untuk lempung

20t/m² untuk lanau berlempung

26t/m² untuk lanau berpasir

40t/m² untuk pasir

Resistance ultimate akibat lekatan lateral:

$$Q_s = \beta \cdot \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) A_s$$

Dimana :

β = Koefisien Shaft

N_s = Harga rata-rata N SPT sepanjang tiang yang tertanam, dengan batasan $3 < N < 50$

A_s = Keliling x panjang tiang tertanam (luas selimut tiang)

Tabel 2. 3 Base dan shaft coefficient untuk beberapa tipe tanah dan pondasi

| Pile | Clay | | Intermediate soil | | Sand | |
|------------------|----------|---------|-------------------|---------|----------|---------|
| | α | β | α | β | α | β |
| 1. Driven pile | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2. Bored pile | 0,85 | 0,8 | 0,60 | 0,65 | 0,5 | 0,5 |
| 3. Injected pile | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 | 3 |

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI

Metodologi perencanaan dermaga merupakan tata cara atau urutan kerja suatu perhitungan perencanaan untuk mendapatkan hasil perencanaan dermaga. Metodologi yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir akan diuraikan dari metodologi dijelaskan sebagai berikut :

3.1 Pengumpulan Data

Dalam melakukan perencanaan struktur dermaga diperlukan data yang akan digunakan preliminari design. Data tersebut meliputi:

1. Data Topografi
2. Data Bathymetri
3. Data arus dan pasang surut
4. Data kapal
5. Data angin dan gelombang
6. Data tanah
7. Data eksisting dermaga

3.2 Spesifikasi Dermaga

1. Pembangunan dermaga dengan konstruksi beton cast in situ
2. Panjang platform dermaga: 35 meter
3. Lebar platform dermaga: 15 meter
4. Struktur pondasi menggunakan pondasi tiang pancang baja
5. Direncanakan dapat disandari kapal hingga 10.000 DWT
6. Elevasi dermaga: LWS + 4.00 meter
7. Kedalaman laut rencana: LWS – 10 meter

3.3 Analisa perencanaan struktur

Analisa perencanaan struktur dermaga meliputi:

- **Syarat teknis perencanaan**

Syarat-syarat teknis perencanaan meliputi data perencanaan data bahan, jenis-jenis bahan yang bekerja pada struktur serta kombinasi beban.

➤ **Perencanaan Dimensi Struktur**

Langkah awal pada perencanaan struktur dermaga adalah merencanakan dimensi struktur. Dimana perencanaan dimensi ini meliputi dimensi dermaga, mooring dolphin, tebal plat, dimensi balok memanjang, balok melintang, dimensi poer, dan tiang pancang.

1. Perencanaan dimensi mooring dolphin
2. Perencanaan tebal plat dermaga
3. Dimensi balok melintang
4. Dimensi balok memanjang
5. Dimensi tiang pancang rencana
6. Dimensi poer (Pile Cap)

➤ **Kontrol Kelangsingan Balok**

Kontrol kelangsingan balok dihitung berdasarkan *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan, BMS (1992)*.

➤ **Pembebanan**

Beban-beban yang bekerja pada struktur dermaga meliputi beban horizontal dan vertical dan kombinasi keduanya

1. Beban vertikal
 - a) Beban merata
 - b) Beban terpusat
2. Beban horisontal
 - a) Beban benturan kapal (berthing force)
 - b) Beban tambatan kapal (mooring force)
 - c) Beban gempa
3. Kombinasi pembebanan berdasarkan **SNI 1725-2016**:
 - a) Kondisi Operasional
 - Layan

- 1) $1DL + 1LL$
- 2) $1DL + 1LL + 1WL$
- Ultimit
 - 1) $1,3 DL + 1,8 LL$
 - 2) $1,3 DL + 1,8 LL + 1,2WL$
- b) Kombinasi kapal sandar
 - Layan
 - 1) $1DL + 1LL$
 - Ultimit
 - 2) $1,3DL + 1,8LL$
- c) Kondisi gempa (Ultimit)
 - 1) $1,3DL + 1LL + 1EQX + 0,3EQY$
 - 2) $1,3DL + 1LL + 0,3EQX + 1EQY$

➤ **Perencanaan Fender**

Fender merupakan bantalan yang mereduksi gaya benturan antara kapal dengan dermaga saat proses penambatan maupun saat bersandar. Perencanaan yang dilakukan meliputi:

1. Perhitungan energi sandar kapal
2. Jarak fender
3. Pemilihan fender
4. Elevasi fender dan gaya reaksi fender

➤ **Perencanaan boulder**

Boulder merupakan alat yang berfungsi sebagai penahan kapal ketika kapal bertambat agar tetap dalam posisinya. Perencanaan boulder meliputi:

1. Perhitungan gaya tambat kapal
2. Perhitungan struktur boulder
3. Perencanaan pemasangan boulder

➤ **Analisa struktur**

Analisa struktur dermaga menggunakan program SAP 2000 sehingga didapatkan gaya-gaya yang bekerja

pada struktur dermaga dan dolphin serta momen yang terjadi pada plat dan balok

➤ **Penulangan dan kontrol stabilitas struktur**

Penulangan meliputi penulangan plat, balok memanjang, balok melintang, balok anak, dan poer. Untuk menjamin perilaku struktur yang memadai, dilakukan kontrol stabilitas yang meliputi kontrol terhadap retak dan lendutan

➤ **Perencanaan tiang pancang**

Perencanaan tiang pancang meliputi perhitungan daya dukung tiang akibat beban vertikal dan horizontal serta perhitungan faktor keamanan tiang pancang

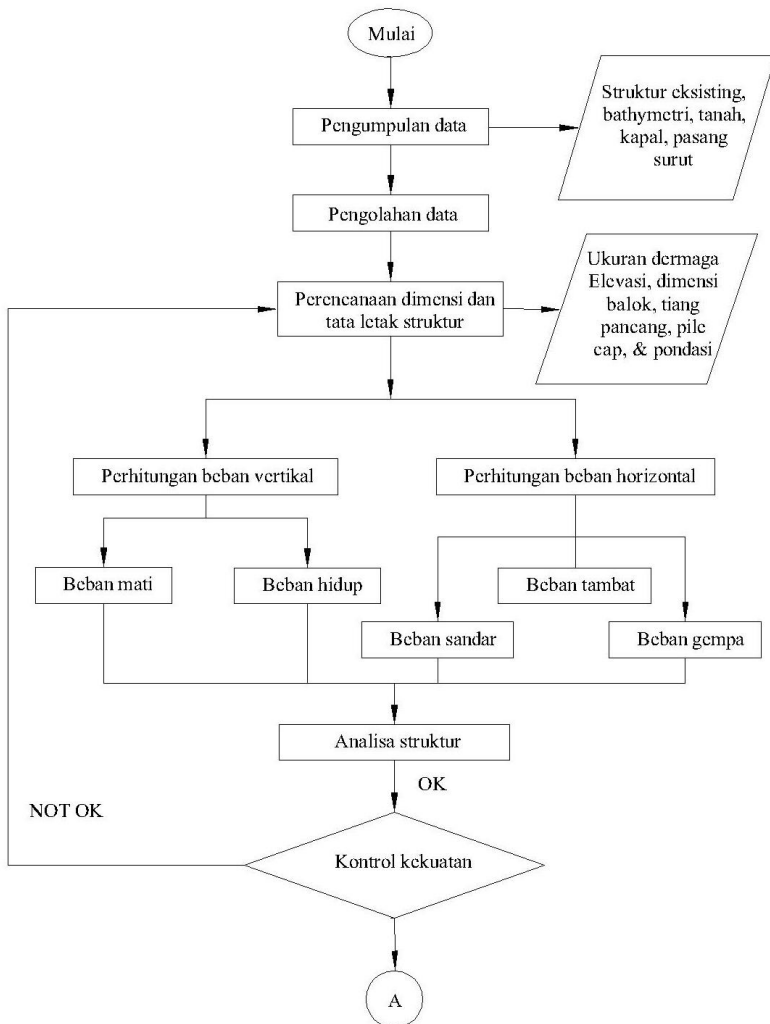
3.4 Penggambaran struktur

Setelah perhitungan struktur selesai, maka dilakukan penggambaran struktur yang dilakukan menggunakan program computer Autocad.

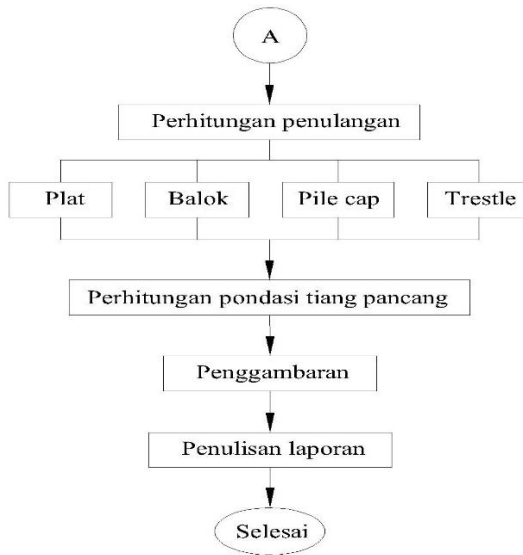
3.5 Penulisan laporan

Tugas akhir merupakan bentuk karya ilmiah, maka dalam pembuatan tugas akhir diperlukan laporan yang penulisannya disusun secara sistematis dan terperinci.

3.6 Bagan Alur (Flowchart)



Gambar 3. 1 Flowchart pengerjaan tugas akhir



Gambar 3. 2 lanjutan flowchart pengerjaan tugas akhir

BAB IV KRITERIA DESAIN

4.1 Data yang digunakan

Berikut adalah data – data yang digunakan dalam perencanaan Dermaga Lamongan Oil Tanker Terminal (LOTT).

4.1.1 Data kapal

Kapal yang akan melabuh pada dermaga LOTT adalah kapal Tanker Product Oil dengan kapasitas 5.000 DWT dan 10.000 DWT. Berikut adalah data kriteria kapal yang digunakan dalam perencanaan ini.

Tabel 4. 1 Dimensi kapal tanker (*sumber: Bridgestone Marine Fender Design Manual*)

| Tanker | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------------|------------|-----------|-----------|------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Dead weight tonnage | Loaded displacement tonnage | Length (m) | Width (m) | Depth (m) | Full draught (m) | Additional weight (ton) | Estimated weight (ton) | Berthing energy (ton-m) | | |
| | | | | | | | | Berthing speed (at 0.1 m/s) | Berthing speed (at 0.15 m/s) | Berthing speed (at 0.2 m/s) |
| 1,000 | 1,333 | 61 | 8.9 | 4.5 | 4.2 | 866 | 2,199 | 0.6 | 1.4 | 2.2 |
| 2,000 | 2,667 | 76 | 11.2 | 5.7 | 5.1 | 1,591 | 4,258 | 1.1 | 2.5 | 4.3 |
| 3,000 | 4,000 | 87 | 12.8 | 6.5 | 5.7 | 2,274 | 6,274 | 1.6 | 3.6 | 6.4 |
| 4,000 | 5,333 | 96 | 14.0 | 7.2 | 6.2 | 2,969 | 8,302 | 2.1 | 4.7 | 8.5 |
| 5,000 | 6,667 | 103 | 15.1 | 7.8 | 6.5 | 3,501 | 10,168 | 2.6 | 5.9 | 10.4 |
| 6,000 | 8,000 | 110 | 16.0 | 8.2 | 6.9 | 4,214 | 12,214 | 3.1 | 7.0 | 12.5 |
| 7,000 | 9,331 | 116 | 16.8 | 8.7 | 7.2 | 4,838 | 14,169 | 3.6 | 8.1 | 14.5 |
| 8,000 | 10,667 | 126 | 15.7 | 9.0 | 7.4 | 5,552 | 16,219 | 4.1 | 9.2 | 16.6 |
| 10,000 | 13,333 | 140 | 17.2 | 9.8 | 7.9 | 7,030 | 20,363 | 5.2 | 11.7 | 20.8 |

Tabel 4. 2 Rekapitulasi data kapal tanker 5.000 dan 10.000 DWT

| DWT | 5.000 DWT | 10.000 DWT |
|---------------------|-----------|------------|
| Panjang kapal (LOA) | 103 m | 140 m |
| Lebar kapal (B) | 15.1 m | 17.2 m |
| Draft kapal (d) | 6.5 m | 7.9 m |
| Tinggi kapal (D) | 7.8 m | 9.8 m |

4.1.2 Data bathymetri

Pada peta Bathymetri di LOTT (Lamongan Oil Tanker Terminal) menunjukkan elevasi 0,0 m diukur dari posisi *Lower Water Surface* (LWS) dengan kedalaman rata-rata adalah -10 m LWS. Kedalaman tersebut harus lebih besar daripada kedalaman izin untuk kapal 10.000 DWT berlabuh

Kapal 10.000 DWT memiliki tinggi draft 9,8m dalam kondisi kosong, sehingga H kolam dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} H_{\text{kolam}} &= (\text{Draft} + 1,5\text{m}) \text{ LWS} \\ &= (7,9\text{m} + 1,5\text{m}) \text{ LWS} \\ &= 9,4\text{m LWS} < 10\text{m (OK)} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka, kedalaman kolam dermaga dapat diterima berdasarkan peta bathymetri tanpa melakukan pengerukan

4.1.3 Data arus

Data arus di perairan Sedayulawas yang digunakan pada perencanaan ini berasal dari Laporan “Justifikasi – Teknis, Pengukuran Hidro – Oceanografi lokasi LOTT” oleh PT. Virama Karya. Data arus ini nantinya akan digunakan untuk menghitung pembebanan yang terjadi pada bollard dan pada pondasi. Berdasarkan data di laporan tersebut diperoleh :

- Kecepatan arus minimum $= 0.95 \text{ cm/s}$
 $= 0.0095 \text{ m/s}$
- Kecepatan arus maksimum $= 19.12 \text{ cm/s}$
 $= 0.1915 \text{ m/s}$

4.1.4 Data angin

Data angin yang diperlukan adalah data arah dan kecepatannya. Data ini diperoleh dari BMKG Tanjung Perak

berupa data arah dan kecepatannya perbulan dari tanggal 1 Januari 2015 sampai dengan 1 Januari 2018 sebesar 28,12 m/s

4.1.5 Data pasang surut

Data pasang surut adalah data elevasi muka air setempat yang diukur dari kedudukan tertentu (elevasi + 0.00 m) yang terdiri dari elevasi muka air tertinggi. Data pasang surut ini nantinya akan digunakan menentukan elevasi lantai dermaga.

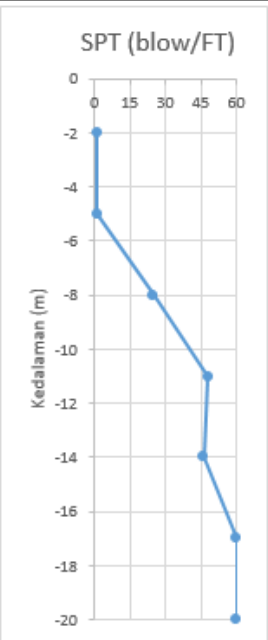
Berdasarkan data yang didapat, elevasi muka air pasang tertinggi dan muka air surut terendah diukur dari LWS adalah sebagai berikut :

- a. $HWL = + 2.48 \text{ m}$
- b. $MWL = + 1.47 \text{ m}$
- c. $LWS = + 0,00 \text{ m}$

4.1.6 Data tanah

Data tanah yang digunakan dalam modifikasi dermaga samudra adalah terdiri dari satu macam yang digunakan untuk perencanaan jetty. Data tanah BH-3 adalah data tanah yang akan digunakan dalam perencanaan platform dan trestle. Berikut adalah data tanah BH-3 :

Tabel 4. 3 Boring Profil (BH-3) Lamongan Oil Tanker Terminal (2016)

| KEDALA MAN (meter) | DESKRIPSI TANAH | SPT (blow/feet) | | ti | ti/N |
|--------------------------|------------------------------|-------------------------|--|----|-------|
| 0 | SEABED | Jumlah (N) (Blow/ft) |  | | |
| 1 | LANAU LEMPUNG BERPASIR | | | 2 | 2 |
| 2 | | 1 | | 3 | 3 |
| 3 | | | | 3 | 0.12 |
| 4 | | 1 | | 3 | 0.063 |
| 5 | | | | 3 | 0.065 |
| 6 | LANAU PASIR BERKERIKIL | | | 3 | 0.05 |
| 7 | | 25 | | 3 | 0.05 |
| 8 | PASIR BERLANAU BERKERIKIL | 48 | | | |
| 9 | | | | | |
| 10 | | | | | |
| 11 | | 46 | | | |
| 12 | | | | | |
| 13 | | | | | |
| 14 | | 60 | | | |
| 15 | | | | | |
| 16 | | | | | |
| 17 | | | | | |
| 18 | | | | | |
| 19 | | | | | |
| 20 | | 60 | | | |

4.2 Kualitas Material

Adapun kualitas material yang digunakan dalam perencanaan ini adalah :

4.2.1 Beton

Adapun kualitas material beton yang digunakan memiliki kuat tekan karakteristik K-350. Spesifisikasi beton K-350 sebagai berikut :

- Kuat tekan $= 350 \text{ kg/cm}^2$

- F_c' = 29.05 Mpa
- Modulus Elastisitas (E) = $4700 \times \sqrt{f_c'}$
 = $4700 \times \sqrt{29.05 \text{ Mpa}}$
 = 25332.08 Mpa

4.2.2 Baja

Mutu baja yang direncanakan adalah sebagai berikut :

- Tulangan $D < 12 \text{ mm}$
 - a. F_y = 240 Mpa
 - b. E_a = 200.000 Mpa
 - c. σ_a = 140 Mpa
- Tulangan $D \geq 12 \text{ mm}$
 - a. F_y = 400 Mpa
 - b. E_a = 200.000 Mpa
 - c. σ_a = 225 Mpa

4.2.3 Tiang pancang

Pondasi tiang yang digunakan adalah Steel Pipe Pile (Tiang Pancang Baja). Adapun spesifikasi untuk tiang pancang yang digunakan sebagai berikut sbb :

Tabel 4. 4 Spesifikasi tiang pancang

| Spesifikasi | Steel Pile Pile | |
|---------------------|-----------------|-------------|
| Kekuatan | | BJ 50 |
| Tegangan Putus Min | F_u | 500 Mpa |
| Tegangan Leleh Min | F_y | 290 Mpa |
| Modulus Elastisitas | E | 200.000 Mpa |
| Modulus Geser | G | 80.000 Mpa |
| Nisbah Poisson | μ | 0.3 |

| | | |
|--------------------|----------|---|
| Koefisien Pemuaian | α | $12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$ |
|--------------------|----------|---|

4.3 Perencanaan Tata Letak dan Dimensi Dermaga

4.3.1 Elevasi trestle

Berdasarkan **tabel 2.1 Desain Kriteria Perencanaan Pelabuhan**, penentuan elevasi dermaga dengan kedalaman air rencana yaitu tinggi air kondisi HWL ditambah tinggi jagaan.

$$\begin{aligned}
 \text{Elevasi Dermaga} &= \text{HWS} + (0.5 - 1.5) \\
 &= 2.48 + 1.5 \\
 &= 3.98 \\
 &= 4.00 \text{ m dari LWS}
 \end{aligned}$$

4.3.2 Panjang dan lebar trestle

Panjang dan lebar trestle direncanakan sesuai dengan kebutuhan kedalaman kapal yang diinginkan / disesuaikan.

$$\text{Panjang Trestle} = 1.200 \text{ meter}$$

$$\text{Lebar Trestle} = 8 \text{ meter}$$

Keterangan :

$$\text{Lebar lalu lintas kendaraan} = 3.5 \text{ meter}$$

$$\text{Lebar perletakan pipa} = 1 \text{ meter (pada sisi kanan)}$$

4.3.3 Panjang dan lebar platform

Platform digunakan untuk discharge muatan yang ada dikapal, pada platform dilengkapi dengan loading arm sebagai penghisap muatan, dan pipa-pipa yang menghubungkan ke darat. Untuk menentukan dimensi platform disesuaikan dengan kebutuhan, Maka panjang platform sebesar 35 meter dan Lebar Platform sebesar 15 meter.

4.3.4 Panjang bentang catwalk

Panjang bentang catwalk disesuaikan dengan jarak antar struktur yang dihubungkan oleh catwalk. Dalam layout yang direncanakan, catwalk berfungsi sebagai penghubung antara platform dan berthing dolphin. Adapun panjang catwalk sebesar 32 meter dan lebar catwalk sebesar 1.2 meter.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

PRELIMINARY DESIGN

5.1 Tebal Struktur Pelat Trestle

Tebal plat dermaga berdasarkan **SNI T 12 2004 pasal 5.5.2** harus mempunyai ketebalan minimum yang memenuhi ketentuan berikut:

- $D \geq 200 \text{ mm}$, atau
- $D \geq 100 \text{ mm} + 40 (l) \text{ mm}$ (l dalam m)
 $D \geq 100 \text{ mm} + 40 (8) \text{ mm}$
 $D \geq 420 \text{ mm}$

Sedangkan menurut **SNI 2847 2013 pasal 9.5.2.2 tabel 9.5 (a)**, tebal minimum plat satu arah bila lendutan tidak dihitung dimana kedua ujung menerus harus memenuhi syarat berikut :

$$D \geq l / 28 \text{ mm}$$

$$D \geq 6000 / 28 \text{ mm}$$

$$D \geq 285.714 \text{ mm}$$

Dengan mempertimbangkan beban beban yang bekerja diatas pelat maka direncanakan tebal pelat trestle dermaga adalah **350 mm**.

5.2 Tebal Struktur Pelat Platform

Perencanaan tebal pelat platform sama dengan perencanaan tebal struktur pelat trestle yaitu tebal pelat minimum harus memenuhi ketentuan **pada SNI T 12 2004 pasal 5.5.2** dan **SNI 2847 2013 pasal 9.5.2.2 tabel 9.5 (a)**

Dengan mempertimbangkan beban beban yang bekerja diatas pelat maka direncanakan tebal pelat platform dermaga adalah **350 mm**.

5.3 Preliminary Design Balok Trestle

a. Dimensi balok memanjang

Dimensi balok memanjang rencana harus direncanakan dengan mempertimbangkan ketentuan **pada SNI T 12 2004 pasal 9.2.1** yaitu tinggi balok tidak boleh kurang dari ketentuan berikut:

- $h \geq 165 + 0.06 (L)\text{mm}$
 $h \geq 165 + 0.06 (6000)\text{mm}$
 $h \geq 525 \text{ mm}$
 $h \geq 700 \text{ mm}$
- $b \geq 2/3 \times h$
 $b \geq 2/3 \times 700$
 $b \geq 466.67 \text{ mm}$
 $b \geq 500$

Maka, direncanakan dimensi balok memanjang **500 x 700 mm**

b. Kontrol kelangsingan balok memanjang

$$L / b_{ef} \leq 240 b_{ef} / D$$

$$6000\text{mm} / 500\text{mm} \leq 240 \times 500\text{mm} / 700\text{mm}$$

$$12 \leq 171.4285 \quad (\text{OK})$$

c. Dimensi balok melintang

Dimensi balok melintang rencana harus direncanakan dengan mempertimbangkan ketentuan pada **SNI T 12 2004 pasal 9.2.1** yaitu tinggi balok tidak boleh kurang dari ketentuan berikut :

- $h \geq 165 + 0.06 (L)\text{mm}$
 $h \geq 165 + 0.06 (6000)\text{mm}$
 $h \geq 525 \text{ mm}$
 $h \geq 700 \text{ mm}$
- $b \geq 2/3 \times h$
 $b \geq 2/3 \times 700$
 $b \geq 466.67 \text{ mm}$

$$b \geq 500$$

Maka, direncanakan dimensi balok memanjang **500 x 700 mm**

d. Kontrol kelangsingan balok memanjang

$$L / b_{ef} \leq 240 b_{ef} / D$$

$$6000\text{mm} / 500\text{mm} \leq 240 \times 500\text{mm} / 700\text{mm}$$

$$12 \leq 171.4285 \quad \textbf{(OK)}$$

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VI PEMBEBANAN

Beban yang bekerja pada dermaga secara garis besar meliputi beban vertikal dan horizontal. Pada bab pembebanan ini akan dijabarkan beban-beban yang bekerja pada masing-masing struktur dermaga yaitu trestle, platform, mooring dolphin, dan berthing dolphin.

6.1 Pembebanan pada trestle

6.1.2 Beban vertikal

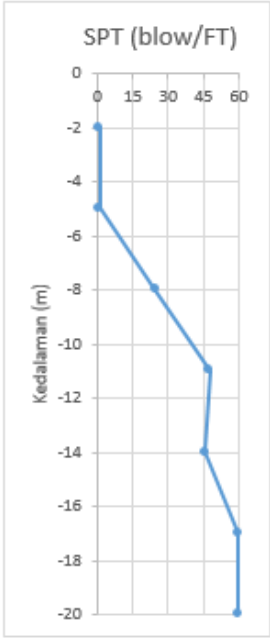
- a. Beban mati merata
 - Beban UDL = 3 t/m^2 (sumber: *Standart Design Criteria for Ports in Indonesia (1984)*, pasal V.2 tabel 5.3)
- b. Beban hidup merata
 - Beban air hujan, $t = 5\text{cm}$
 $q = 0,05 \text{ m} \times 1 \text{ ton/m}^3 = 0,05 \text{ ton/m}^2$
 - Beban angin
Kecepatan angin (V_w) = $28,12 \text{ m/s}$
Koefisien (C_w) = $1,2$
 $T_{ew} = 0,0012 \times C_w \times V_w^2$
 $= 0,0012 \times 1,2 \times 28,12^2 \times 100$
 $= 113,865 \text{ kg/m}$
 $P_{ew} = \frac{h/2}{1,75 \text{ m}} \times T_{ew}$
 $= \frac{2/2}{1,75 \text{ m}} \times 113,865$
 $= 65,06 \text{ kg/m}$
- c. Beban mati terpusat
 - Beban truk
Beban truk sesuai dengan sub bab 2.6.5 yaitu roda depan sebesar 50 kN dan roda belakang sejumlah 2 titik masing-masing sebesar 225 kN

- Beban pipa D600 mmx 2 buah = $187,07 \text{ kgm} \times 2 = 374,14 \text{ kgm}$
- Beban dudukan pipa pada platform $0,1 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 1,4 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 134,4 \text{ kg}$
- Beban komponen pengikat dan penyangga = 150 kg
- Beban curah cair = $(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (D_{\text{pipa}} - \text{tebal pipa}) \cdot \text{panjang segmen} \cdot \text{berat curah cair}) \times 2 = (\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,5846 \cdot 6 \cdot 900) \times 2 = 2898,88 \text{ kg}$
- Beban tiang sandaran
 $= \text{berat tiang sandaran} + 2x \text{ berat pipa}$
 $= 14,28 \text{ kg} + 2x 11,14 \text{ kg}$
 $= 36,56 \text{ kg}$

6.1.3 Beban horizontal

- Beban gempa
 Gempa pada modifikasi dermaga LOTT direncanakan menggunakan periode ulang 1000 tahun atau level gempa adalah 7% dalam 75 tahun (RSNI 2833-201X). Beban gempa akan direncanakan menggunakan respond spectrum, berikut adalah perhitungannya:
1. Penentuan kelas situs:
 berikut adalah perhitungan penentuan kelas situs:

Tabel 6. 1 Data tanah Lamongan Oil Tanker Terminal

| KEDALAMAN MAN (meter) | DESKRIPSI TANAH | SPT (blow/feet) | | ti | ti/N | |
|-----------------------------|------------------------------|-------------------------|---|------|-------|------|
| 0 | SEABED | Jumlah (N) (Blow/ft) |  | | | |
| 1 | LANAU LEMPUNG BERPASIR | | | | | |
| 2 | | 1 | | 2 | 2 | |
| 3 | | | | 3 | 3 | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | 1 | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | LANAU PASIR BERKERIKIL | | | | 3 | 0.12 |
| 8 | PASIR BERLANAU BERKERIKIL | 25 | | | | |
| 9 | | | | | | |
| 10 | | | | 3 | 0.063 | |
| 11 | | 48 | | | | |
| 12 | | | | | | |
| 13 | | | | 3 | 0.065 | |
| 14 | | 46 | | | | |
| 15 | | | | | | |
| 16 | | | | 3 | 0.05 | |
| 17 | | 60 | | | | |
| 18 | | | | | | |
| 19 | | | 3 | 0.05 | | |
| 20 | | 60 | | | | |
| Σ | | | | 20 | 5.348 | |
| N rata-rata | | | | | 3.740 | |

Berdasarkan SNI 2833 2013 tabel 2 $N_{rata-rata} < 15$ sehingga tanah termasuk dalam situs tanah lunak (**SE**).

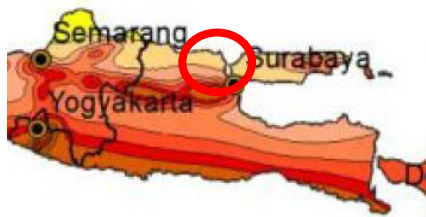
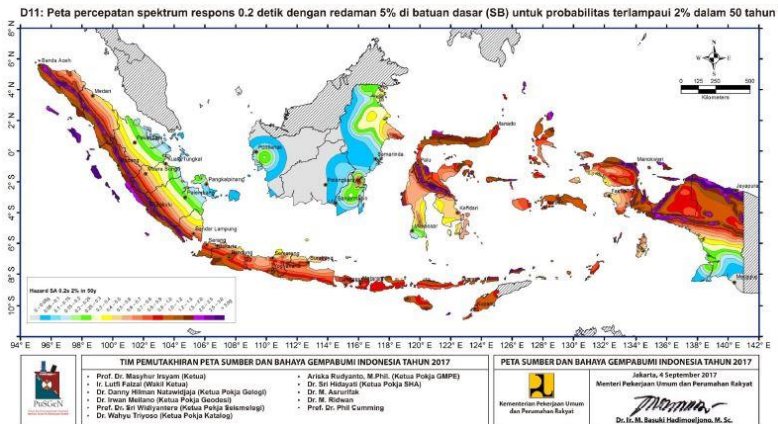
Tabel 6. 2 Kelas situs tanah

| Kelas Situs | \bar{V}_s (m/s) | \bar{N} | \bar{S}_u (kPa) |
|---|--|---------------------------|------------------------------|
| A. Batuan Keras | $\bar{V}_s \geq 1500$ | N/A | N/A |
| B. Batuan | $750 < \bar{V}_s \leq 1500$ | N/A | N/A |
| C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak | $350 < \bar{V}_s \leq 750$ | $\bar{N} > 50$ | $\bar{S}_u \geq 100$ |
| D. Tanah Sedang | $175 < \bar{V}_s \leq 350$ | $15 \leq \bar{N} \leq 50$ | $50 \leq \bar{S}_u \leq 100$ |
| E. Tanah Lunak | $\bar{V}_s < 175$ | $\bar{N} < 15$ | $\bar{S}_u < 50$ |
| | Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air (w) $\geq 40\%$, dan 3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{S}_u < 25$ kPa | | |
| F. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik | Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti : - Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan > 3 m) - Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7.5$ m dengan $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35$ m | | |

Catatan : N/A = tidak dapat digunakan

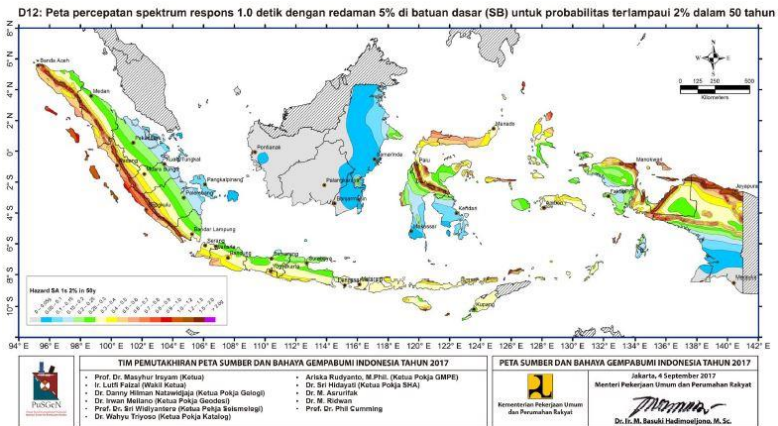
2. Menentukan nilai S_s dan S_1

Nilai S_s dan S_1 ditentukan dengan melihat peta gempa untuk periode ulang 1000 tahun pada *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017* yaitu peta gambar 8 untuk nilai S_s dan peta gambar 9 untuk nilai S_1 .



Gambar 6. 1 Peta Gambar 8 Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017 dan lokasi perencanaan dermaga

Berdasarkan gambar diatas dapat ditentukan nilai $S_s = 0,5$



Gambar 6. 2 Peta Gambar 9 Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017 dan lokasi perencanaan dermaga

Berdasarkan gambar diatas dapat ditentukan nilai $S_1 = 0,2$

3. Menentukan faktor amplifikasi (F_a)

Nilai Faktor Amplifikasi (F_a) dapat ditentukan dengan melihat tabel 4 SNI 1729 2012 atau tabel 3 SNI 2833 2013 seperti pada tabel berikut :

Tabel 6. 3 Faktor amplifikasi untuk periode 0 detik dan 0,2 detik
(F_{PGA}/F_a)

| Kelas situs | $PGA \leq 0,1$ $S_s \leq 0.25$ | $PGA = 0,2$ $S_s = 0.5$ | $PGA = 0,3$ $S_s = 0.75$ | $PGA = 0,4$ $S_s = 1.0$ | $PGA > 0,5$ $S_s \geq 1.25$ |
|-------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Batuan Keras (SA) | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| Batuan (SB) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Tanah Keras (SC) | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.0 |
| Tanah Sedang (SD) | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| Tanah Lunak (SE) | 2.5 | 1.7 | 1.2 | 0.9 | 0.9 |
| Tanah Khusus (SF) | SS | SS | SS | SS | SS |

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

Berdasarkan kelas situs **SE** dan nilai $S_s = 0,5$ maka diambil nilai $F_a = 1,7$.

4. Menentukan nilai koefisien situs (F_v)

Nilai Faktor Amplifikasi (F_v) dapat ditentukan dengan melihat tabel 4 *SNI 2833 2013* seperti pada tabel berikut

Tabel 6. 4 Besarnya nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik
(F_v)

| Kelas situs | $S_1 \leq 0.1$ | $S_1 = 0.2$ | $S_1 = 0.3$ | $S_1 = 0.4$ | $S_1 \geq 0.5$ |
|-------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| Batuan Keras (SA) | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| Batuan (SB) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Tanah Keras (SC) | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 |
| Tanah Sedang (SD) | 2.4 | 2.0 | 1.8 | 1.6 | 1.5 |
| Tanah Lunak (SE) | 3.5 | 3.2 | 2.8 | 2.4 | 2.4 |
| Tanah Khusus (SF) | SS | SS | SS | SS | SS |

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

Berdasarkan kelas situs **SE** dan nilai $S_1 = 0,2$ maka diambil nilai $F_v = 3,2$

5. Parameter percepatan spectral

Parameter percepatan spectral desain untuk perioda pendek dan untuk perioda 1 detik menurut *SNI 2833 2013* pasal 5.4.1 ditentukan dengan persamaan berikut:

- $S_{DS} = F_a \times S_s = 1,7 \times 0,5 = 0,85$

- $S_{D1} = F_v \times S_1 = 3,2 \times 0,2 = 0,64$ (zona gempa 4)

6. Grafik respons spectrum

Sebelum membuat grafik respond spectrum terlebih dahulu menentukan nilai T_0 dan T_s dengan persamaan sebagai berikut :

- $T_0 = 0,2 \left(\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \right) = 0,151$
- $T_s = \left(\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \right) = 0,753$

Sedangkan percepatan spectra dapat dihitung dengan memenuhi ketentuan *SNI 1726 2012 pasal 6.4* sebagai berikut :

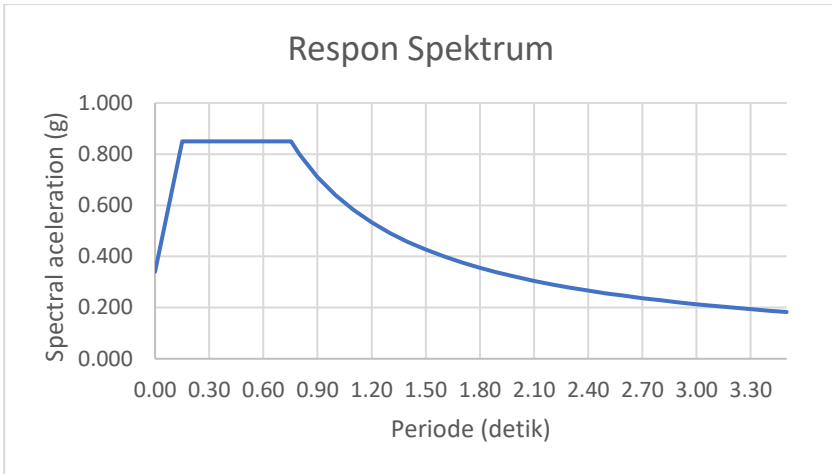
- Untuk perioda lebih kecil dari T_0 , spectrum respond percepatan desain $S_a = S_{DS} \times (0,4 + 0,6 \left(\frac{T}{T_0} \right))$
- Untuk perioda lebih besar sama dengan T_0 dan lebih kecil dari T_s , spectrum respond percepatan desain $S_a = S_{DS}$
- Untuk perioda lebih besar sama dari T_s , spectrum respond percepatan desain $S_a = S_{D1}/T$

Berikut adalah tabel perhitungan *Spectra Acceleration 6.5*

Tabel 6. 5 Perhitungan spectra acceleration

| T | T (detik) | Sa (g) |
|-------------|--------------|--------|
| $T < T_0$ | 0.000 | 0.340 |
| T_0 | 0.151 | 0.850 |
| $T < T_s$ | 0.200 | 0.850 |
| | 0.500 | 0.850 |
| | 0.700 | 0.850 |
| T_s | 0.753 | 0.850 |
| $T_s + 0.1$ | 0.800 | 0.800 |

| | | |
|----------|-------|-------|
| Ts + 0.1 | 0.900 | 0.711 |
| Ts + 0.1 | 1.000 | 0.640 |
| Ts + 0.1 | 1.100 | 0.582 |
| Ts + 0.1 | 1.200 | 0.533 |
| Ts + 0.1 | 1.300 | 0.492 |
| Ts + 0.1 | 1.400 | 0.457 |
| Ts + 0.1 | 1.500 | 0.427 |
| Ts + 0.1 | 1.600 | 0.400 |
| Ts + 0.1 | 1.700 | 0.376 |
| Ts + 0.1 | 1.800 | 0.356 |
| Ts + 0.1 | 1.900 | 0.337 |
| Ts + 0.1 | 2.000 | 0.320 |
| Ts + 0.1 | 2.100 | 0.305 |
| Ts + 0.1 | 2.200 | 0.291 |
| Ts + 0.1 | 2.300 | 0.278 |
| Ts + 0.1 | 2.400 | 0.267 |
| Ts + 0.1 | 2.500 | 0.256 |
| Ts + 0.1 | 2.600 | 0.246 |
| Ts + 0.1 | 2.700 | 0.237 |
| Ts + 0.1 | 2.800 | 0.229 |
| Ts + 0.1 | 2.900 | 0.221 |
| Ts + 0.1 | 3.000 | 0.213 |
| Ts + 0.1 | 3.100 | 0.206 |
| Ts + 0.1 | 3.200 | 0.200 |
| Ts + 0.1 | 3.300 | 0.194 |
| Ts + 0.1 | 3.400 | 0.188 |
| Ts + 0.1 | 3.500 | 0.183 |



Gambar 6. 3 Grafik respon spektrum

6.2 Pembebanan Pada Platform

6.2.1 Beban vertikal

- a. Beban mati merata
 - Beban UDL = 3 t/m^2 (sumber: *Standart Design Criteria for Ports in Indonesia (1984), pasal V.2 tabel 5.3*)
- b. Beban hidup merata
 - Beban air hujan, $t = 5\text{cm}$
 $q = 0,05 \text{ m} \times 1 \text{ ton/m}^3 = 0,05 \text{ ton/m}^2$
- c. Beban mati terpusat
 - Beban marine loading arm
 Marine loading arm adalah prasarana dermagayang berfungsi sebagai pemopa minyak dari/ke vessel dan pipa yang diteruskan menuju storage. MLA yang digunakan bertipe B0030 dengan spesifikasi seperti pada table 6.6 berikut

Tabel 6. 6 Spesifikasi marine loading arm (sumber: Emcowheaton catalogue)

| TYPICAL DIMENSIONS, WEIGHTS AND OVERTURNING MOMENTS (without emergency release system) | | | | | | | | | |
|--|--------------|----|------|------|-----|----|-----------|--------|---------|
| Arm Size | Riser Height | X | C | D | N | S | Flow Rate | Weight | Moment |
| | ft | ft | ft | ft | ft | ft | gal/min | lbs | Lb ft |
| 4" | 15 | 4 | 26 | 26 | 2 | 12 | 1,320 | 13,900 | 77,000 |
| 6" | 15 | 4 | 26 | 26 | 2 | 12 | 2,640 | 14,200 | 78,500 |
| 8" | 15 | 4 | 29.5 | 29.5 | 2.4 | 12 | 4,850 | 19,500 | 108,000 |
| 10" | 20 | 6 | 33 | 33 | 3 | 17 | 7,500 | 26,700 | 172,000 |
| 12" | 23 | 6 | 36 | 36 | 3.4 | 20 | 11,000 | 35,200 | 254,500 |
| 16" | 23 | 6 | 36 | 36 | 4.3 | 20 | 17,500 | 50,000 | 375,000 |

- Beban monitoring house
 - Berat dinding galvalum 1,2
 $= 10.3 \text{ kg/m}^2 \times 2,5\text{m} \times (2 \times (4\text{m} + 5\text{m}))$
 $= 463,5 \text{ kg}$
 - Berat rangka baja L65.65.11
 $= 10,3 \text{ kg/m}^2 \times ((2,5 \times 4) + (6\text{m} \times 2) + (5\text{m} \times 2)) = 485,5 \text{ kg}$
 - Berat atap asbes 5mm
 $= 11 \text{ kg/m}^2 \times 5\text{m} \times 6\text{m} = 330\text{kg}$
 - Total beban = 1279 kg
- Beban pipa D600 mm x 2 buah = 187,07 kgm x 2 = 374,14 kgm
- Beban dudukan pipa pada platform 0,1m x 0,4m x 1,4m = 134,4 kg
- Beban komponen pengikat dan penyangga = 150kg
- Beban curah cair = $(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (D_{\text{pipa}} - \text{tebal pipa}) \cdot \text{panjang segmen} \cdot \text{berat curah cair}) \times 2 = (\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,5846 \cdot 6.900) \times 2 = 2898,88 \text{ kg}$

6.2.2 Beban horizontal

- Beban gempa

Perhitungan beban gempa pada platform dihitung secara dinamis pada respon spectrum SAP 2000 seperti pada trestle

6.3 Pembebanan Pada Mooring Dolphin

6.3.1 Beban vertikal

- a. Beban mati merata
 - Beban UDL = 3 t/m^2 (sumber: *Standart Design Criteria for Ports in Indonesia (1984), pasal V.2 tabel 5.3*)
- b. Beban hidup merata
 - Beban air hujan, $t = 5\text{cm}$
 $q = 0,05 \text{ m} \times 1 \text{ ton/m}^3 = 0,05 \text{ ton/m}^2$
- c. Beban mati terpusat
 - Beban sendiri bollard

6.3.2 Beban horizontal

- Beban gempa
 Perhitungan beban gempa pada mooring dolphin dihitung secara dinamis pada respon spectrum SAP 2000 seperti pada trestle
- Beban tarikan kapal
 Beban tarikan kapal pada bollard diambil dari beban tarikan yang terjadi pada saat kapal bertambat dengan dibandingkan dengan beban arus dan angin. berikut merupakan perhitungannya

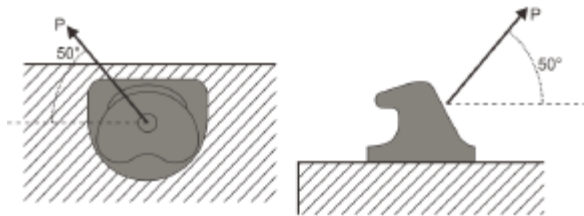
a. Pembebanan bollard

Beban tarikan bollard disebabkan oleh gaya tarik kapal karena bobot kapal atau karena angin atau arus. Gaya terbesar

akan diambil sebagai gaya horizontal dermaga dan juga digunakan dalam perencanaan bollard.

- **Beban tarikan kapal**

Besar tarikan kapal direfleksikan terhadap sumbu horizontal dan vertikal seperti pada gambar 4.5 berikut. Untuk perhitunganya gaya kritis, diambil angka perumpamaan sudut tali adalah 50° .



Gambar 6. 4 Permodelan sumbu tarikan kapal

Nilai besar tarikan kapal dihitung berdasarkan ukuran kapal seperti yang tertera pada tabel berikut.

Tabel 6. 7 Besar tarikan kapal

| Gross tonnage of vessel (ton) | Tractive force on bollard (ton) |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 200 - 500 | 10 |
| 501 - 1000 | 15 |
| 1001 - 2000 | 15 |
| 2001 - 3000 | 25 |
| 3001 - 5000 | 25 |
| 5001 - 10000 | 35 |
| 10001 - 15000 | 50 |
| 15001 - 20000 | 50 |
| 20001 - 100000 | 70 |

Berdasarkan tabel 6.7 di atas, di dapatkan bahwa gaya tarik pada bollard untuk kapal berkapasitas 10.000 DWT adalah 35 ton.

Dengan perumpamaan sudut 50° sebagai α dan β , maka besarnya komponen gaya yang terjadi adalah sebagai berikut :

$$V = P.\sin\alpha = 35.\sin 50^\circ = 26,81 \text{ ton}$$

$$H = P.\cos\alpha = 35.\cos 50^\circ = 22,50 \text{ ton}$$

$$T = H.\cos\beta = 26,81.\cos 50^\circ = 14,46 \text{ ton}$$

$$N = H.\sin\beta = 26,81.\sin 50^\circ = 17,23 \text{ ton}$$

Di mana :

- Nilai V digunakan untuk menghitung agar bollard tidak sampai tecabut
- Nilai T digunakan untuk menghitung besar momen yang bekerja
- Nilai N dan H digunakan untuk menghitung besar tarikan pada bollard
- Nilai P yang didapatkan dari tabel harus dibandingkan dengan gaya tarik kapal akibat tekanan arus dan angin.

▪ Gaya Tarik Akibat Arus

Penentuan besar gaya tarik akibat arus dihitung dengan persamaan berikut :

$$P_c = C_c \cdot \gamma_c \cdot A_c \cdot \frac{V_c^2}{2g}$$

Di mana :

P_c = tekanan arus pada kapal (ton)

γ_c = berat jenis air laut = 1,025 t/m³

A_c = Luas kapal di bawah muka air (m²), dihitung pada empat kondisi, kapal penuh dan kapal kosong dengan masing-masing ditinjau sisi depan dan samping kapal

V_c = Kecepatan arus = 0,2 m/s (kondisi ekstrim)

$$\begin{aligned}
 C_c &= \text{koefisien tekanan arus} \\
 &= 1,5 \text{ (arah arus tegak lurus kapal)} \\
 &= 0,6 \text{ (arah arus sejajar kapal)} \\
 g &= 9,81 \text{ m/s}^2
 \end{aligned}$$

Kondisi Kapal Penuh bagian Samping

$$\begin{aligned}
 A_c &= L_oa \times D = 140 \text{ m} \cdot 7,9 \text{ m} = 1106 \text{ m}^2 \\
 P_c &= 1,5 \cdot 1,025 \text{ kg/m}^3 \cdot 1106 \text{ m}^2 \cdot (0,2 \text{ m/s} / 2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2) \\
 &= 53466,8 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kondisi Kapal Kosong bagian Samping

$$\begin{aligned}
 A_c &= L_oa \times D = 140 \text{ m} \cdot 7,9 \text{ m} / 3 = 368,67 \text{ m}^2 \\
 P_c &= 1,5 \cdot 1,025 \text{ kg/m}^3 \cdot 368,67 \text{ m}^2 \cdot (0,2 \text{ m/s} / 2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2) \\
 &= 1155,606 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kondisi Kapal Penuh bagian Muka

$$\begin{aligned}
 A_c &= B \times D = 17,2 \text{ m} \cdot 7,9 \text{ m} = 135,88 \text{ m}^2 \\
 P_c &= 0,6 \cdot 1,025 \text{ kg/m}^3 \cdot 135,88 \text{ m}^2 \cdot (0,2 \text{ m/s} / 2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2) \\
 &= 170,36 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kondisi Kapal Kosong bagian Muka

$$\begin{aligned}
 A_c &= B \times D = 17,2 \text{ m} \cdot 7,9 \text{ m} / 3 = 45,29 \text{ m}^2 \\
 P_c &= 0,6 \cdot 1,025 \text{ kg/m}^3 \cdot 45,29 \text{ m}^2 \cdot (0,2 \text{ m/s} / 2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2) \\
 &= 56,7898 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Untuk mengetahui kapasitas bollard yang dibutuhkan, maka beban arus yang terjadi harus dibagi dengan jumlah bollard yang menahan gaya tersebut. Adapun perhitungan kebutuhan bollard minimum akan disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 6. 8 Perhitungan kebutuhan bollard

| Gaya Arus | Pc (kg) | Jumlah Bollard | Pc tiap bollard (kg) |
|-----------------------------|----------|----------------|----------------------|
| Kapal penuh bagian samping | 3466.820 | 4 | 866.70 |
| Kapal kosong bagian samping | 1155.607 | 4 | 288.90 |
| Kapal penuh bagian muka | 170.369 | 2 | 85.18 |
| Kapal kosong bagian muka | 56.790 | 2 | 28.39 |

Sehingga diperoleh kapasitas bollard minimal adalah 866,7 kg atau 0,8667 ton

▪ Gaya Tarik Akibat Angin

Perhitungan gaya tarik akibat angin ditentukan dengan rumus berikut :

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_w \cdot V_w^2 \cdot (A_w \cdot \cos^2 \theta + B_w^2 \cdot \sin^2 \theta)$$

Di mana :

P_w = tekanan angin pada kapal yang bertambat

C_w = koef. Tekanan angin = 1,135

A_w = luasan muka kapal di atas air = $(H-D) \cdot B$

$$= (9,8 - 7,9) \cdot 17,2 = 32,68 \text{ m}^2 \text{ (kapal penuh)}$$

$$= (9,8 - 7,9/3) \cdot 17,2 = 123,3 \text{ m}^2 \text{ (kapal kosong)}$$

B_w = luasan badan kapal di atas air = $(H-D) \cdot L_{oa}$

$$= (9,8 - 7,9) \cdot 140 = 266 \text{ m}^2 \text{ (kapal penuh)}$$

$$= (9,8 - 7,9/3) \cdot 140 = 1003,3 \text{ m}^2 \text{ (kapal kosong)}$$

θ = sudut arah datang angin terhadap sumbu memanjang kapal

= 90° (tegak lurus dengan kapal)

= 180° (sejajar dengan kapal)

V_w = kecepatan angin = 28,12 m/s

ρ = kepadatan udara = $0,123 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$

Sehingga P_w dihitung dengan hasil seperti yang ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 6. 9 Rekapitulasi perhitungan P_w

| Gaya Angin | | P_w | Jumlah Bollard | P_w tiap bollard |
|--------------|-----------------------------|---------|----------------|--------------------|
| Angin Normal | Kapal penuh bagian samping | 14681.9 | 2 | 7340.966648 |
| | Kapal kosong bagian samping | 55379.2 | 2 | 27689.61104 |
| | Kapal penuh bagian muka | 1803.78 | 2 | 901.8901882 |
| | Kapal kosong bagian muka | 6803.73 | 2 | 3401.866499 |

Sehingga diketahui beban tarikan akibat angin yang ditanggung oleh tiap bollard minimal adalah 27689 kg atau 27.689 ton

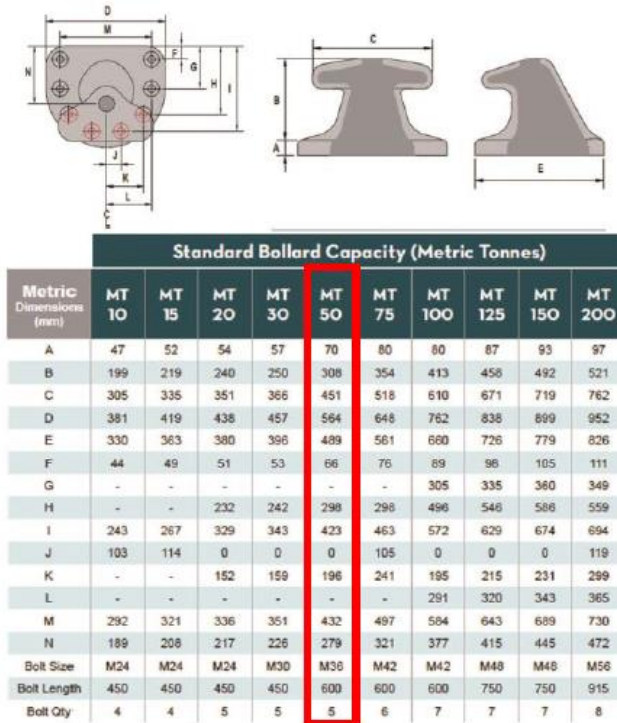
b. Penentuan Tipe Bollard

Berdasarkan perhitungan gaya tarik kapal yang telah dilakukan, diketahui keperluan minimal tiap bollard yang diperlukan adalah :

- Gaya Tarikan Kapal = 35 ton
- Gaya Arus = 0,8667 ton
- Gaya Angin = 27,689 ton

Gaya terbesar yang merupakan gaya tarikan kapal sebesar 35 ton akan digunakan sebagai perencanaan bollard. Dengan

mengacu pada Catalogue Maritime International Mooring Bollard, direncanakan penggunaan bollard tipe MT50 berkapasitas 50 ton



Gambar 6. 5 Tipe bollard (sumber: *Catalogue Maritime International Mooring Bollard*)

Dikarenakan jarak antara platform dan mooring dolphin yang cukup jauh, maka diperlukan bollard tambahan pada area berthing dolphin dengan tujuan sebagai tempat pengikat tali sementara sebelum pengikatan tetap pada mooring dolphin dilakukan. Sehingga direncanakan dipasang bollard dengan kapasitas 20 ton (MT20) pada tiap berthing dolphin.

d. Penempatan Bollard

Berdasarkan ketentuan *Standart Criteria For Port in Indonesia, 1984* tabel 7.5 hal 33

Tabel 6. 10 Penempatan bollard

| Gross tonnage of ship (Ton) | Min. number of installation per |
|-----------------------------|---------------------------------|
| -2000 | 4 |
| 2001 - 5000 | 6 |
| 5001 - 20000 | 6 |
| 20001 - 50000 | 8 |
| 50000 - 100000 | 8 |

Berdasarkan ketentuan diatas maka letak bollard pada mooring dolphin akan dipasang sebesar 6 buah.

6.4 Pembebanan Pada Berthing Dolphin

6.4.1 Beban vertikal

- a. Beban mati merata
 - Beban UDL = 3 t/m^2 (sumber: *Standart Design Criteria for Ports in Indonesia (1984)*, pasal V.2 tabel 5.3)
- b. Beban hidup merata
 - Beban air hujan, $t = 5\text{cm}$
 $q = 0,05 \text{ m} \times 1 \text{ ton/m}^3 = 0,05 \text{ ton/m}^2$
- c. Beban mati terpusat
 - Beban sendiri fender
 - Beban bollard sebesar 20 ton

6.4.2 Beban horizontal

- Beban gempa

Perhitungan beban gempa pada berthing dolphin dihitung secara dinamis pada respon spectrum SAP 2000 seperti pada trestle

- Beban reaksi fender
Perhitungan reaksi fender

a. Menghitung berthing energy 5000DWT

1. Data kapal 5.000 DWT

- Tipe kapal = Tanker
- Berat kapal = 5.000 DWT
- $W_s = \frac{4}{3} \times 5.000 \text{ DWT}$
= 6666,67 DWT
- Loa = 103 m
- $L_{pp} = 0,852 \times Loa^{1,0201}$
= $0,852 \times 103^{1,0201}$
= 96,32 m
- Lebar kapal (B) = 15,1 m
- Tinggi kapal (H) = 7,8 m
- Draught (d) = 6,5 m
- Berthing velocity = 0,15 m/s
- massa jenis air laut (ρ) = 1,025 t/m³

2. Berthing energy

Perencanaan tipe fender didasarkan atas besarnya energy kapal yang menumbuk pada struktur dermaga dan berthing. dihitung dengan rumus :

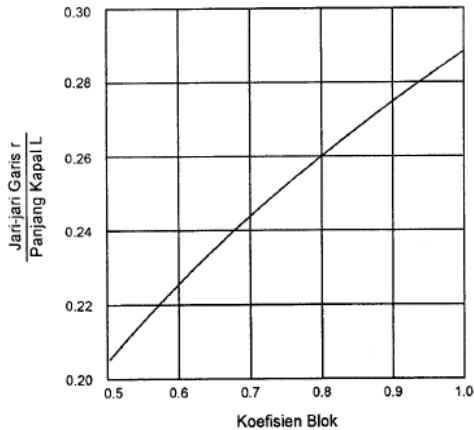
$$Ef = W_s \times \frac{v}{2g} \times C_m \times C_E \times C_C \times C_S \text{ ton.m}$$

Dimana:

$$C_b = \frac{W_s}{L_{pp} \times B \times d \times \rho} = \frac{6.666,67 \text{ DWT}}{96,32 \text{ m} \times 15,1 \text{ m} \times 6,5 \text{ m} \times 1,025 \text{ t/m}^3}$$

$$= 0,6879$$

dengan $C_b = 0.68$ maka dari gambar 6.3 didapatkan rasio r/L adalah 0.2405



Gambar 6. 6 Jari-jari putaran di sekeliling pusat berat kapal

$$r = \left(\frac{r}{L}\right) \times Loa = 0,2405 \times 103 \text{ m} = 24,77 \text{ m}$$

$$l = \frac{1}{6} \times Loa = \frac{1}{6} \times 103 \text{ m} = 17,167 \text{ m}$$

$$C_E = \frac{1}{1 + \left(\frac{l}{r}\right)^2} = \frac{1}{1 + (17,167/24,77)^2} = 0,675$$

$$C_m = 1 + \frac{(\pi \cdot d)}{2 \cdot C_b \cdot B} = 1 + \frac{(\pi \times 6,5 \text{ m})}{2 \times 0,6879 \times 15,1 \text{ m}} = 1,98$$

$$C_c = 1$$

$$C_s = 1$$

Sehingga :

$$Ef = 6666,67 \times \frac{0,15 \text{ m/s}}{2 \times 9,8} \times 1,98 \times 0,675 \times 1 \times 1 \text{ ton.m}$$

$$= 10,251 \text{ tm}$$

b. Menghitung berthing energy 10000DWT

1. Data kapal 10.000 DWT

- Tipe kapal = Tanker
- Berat kapal = 10.000 DWT
- $W_s = \frac{4}{3} \times 10.000 \text{ DWT}$
= 13.333 DWT
- Loa = 140 m
- Lpp = $0,852 \times Loa^{1,0201}$
= $0,852 \times 140^{1,0201}$
= 131,74 m
- Lebar kapal (B) = 17,2 m
- Tinggi kapal (H) = 9,8 m
- Draught (d) = 7,9 m
- Berthing velocity = 0,15 m/s
- massa jenis air laut (ρ) = 1,025 t/m³

2. Berthing energy

Perencanaan tipe fender didasarkan atas besarnya energy kapal yang menumbuk pada struktur dermaga dan berthing. dihitung dengan rumus :

$$Ef = W_s \times \frac{v}{2g} \times C_m \times C_E \times C_C \times C_S \text{ ton.m}$$

Dimana:

$$C_b = \frac{W_s}{L_{pp} \times B \times d \times \rho} = \frac{13,333 \text{ DWT}}{131,74 \text{ m} \times 17,2 \text{ m} \times 7,9 \text{ m} \times 1,025 \text{ t/m}^3}$$

$$= 0,726$$

dengan $C_b = 0.726$ maka dari gambar 6.3 didapatkan rasio r/L adalah 0.249

$$r = \left(\frac{r}{L}\right) \times Loa = 0,249 \times 140 \text{ m} = 34,86 \text{ m}$$

$$l = \frac{1}{6} \times Lo a = \frac{1}{6} \times 103m = 23,33 m$$

$$C_E = \frac{1}{1 + \left(\frac{l}{r}\right)^2} = \frac{1}{1 + (23,33/34,86)^2} = 0,6905$$

$$C_m = 1 + \frac{(\pi \cdot d)}{2 \cdot C_b \cdot B} = 1 + \frac{(\pi \times 7,9m)}{2 \times 0,6905 \times 17,2m}$$

$$= 1.99$$

$$C_c = 1$$

$$C_s = 1$$

Sehingga :

$$E_f = 13.333 \times \frac{0,15 m/s}{2 \times 9,8} \times 1,99 \times 0,6905 \times 1 \times 1 \text{ ton.m}$$

$$= 21,064 tm$$

c. Pemilihan Fender

Pemilihan fender dapat ditentukan dengan membandingkan nilai *berthing energy* rencana dengan kapasitas *berthing energy* yang dimiliki fender. Sedangkan panjang fender menyesuaikan bidang sentuh kapal terhadap fender. Dalam perencanaan ini dipilih fender SV 800H grade V4 panjang 3 meter. dengan sepefisikasi gaya yang terima seperti berikut :

■ SV-800H PERFORMANCE TABLE

| LENGTH (M) | RUBBER GRADE | (DESIGNED DEFLECTION 45%) | | | |
|---------------|-----------------|---------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|
| | | REACTION FORCE | ENERGY ABSORPTION | REACTION FORCE | ENERGY ABSORPTION |
| | | (tonf) | (tonf-m) | (KN) | (KN-m) |
| 3.0 | V1 | 205 | 54.7 | 2010 | 536 |
| | V2 | 180 | 48.0 | 1765 | 471 |
| | V3 | 135 | 36.0 | 1324 | 353 |
| | V4 | 90.0 | 24.0 | 883 | 235 |

Gambar 6. 7 Spesifikasi fender (sumber: *Doshin Rubber Fender*)

Posisi fender

Posisi fender yang direncanakan harus mencakupi jarak minimum fender dari kapal 5000 DWT dan 10000 DWT. Menurut kriteria desain dari *OCIMF*, jarak interval dari berthing dolphin yaitu

$$\text{Minimum breast dolphin} = 0,25 \text{ LOA}$$

$$\text{Maximum breast dolphin} = 0,40 \text{ LOA}$$

Tabel 6. 11 Persyaratan jarak antar fender

| DWT | LOA | Minimum breast dolphin 0,25 LOA | Maximum breast dolphin 0,40 LOA |
|-------|-------|------------------------------------|------------------------------------|
| 5000 | 103 m | 25.8 m | 41.2 m |
| 10000 | 140 m | 35.0 m | 56.0 m |

Sehingga jarak antar fender direncanakan sejauh 35 m, karena masih dalam range kapal 5000 DWT dan kapal 10000 DWT

d. Berthing force

Perhitungan gaya yang diterima oleh dermaga akibat *berthing energy* akan meninjau satu kondisi kapal, sedangkan yang lain akan disajikan dalam bentuk tabel rekapitulasi. Berikut perhitungannya:

Kondisi berthing vessel saat LWS (untuk kapal 5.000 DWT)

Bidang sentuh kapal = 55%

Energi yang diterima fender = 10,25 tm < 24 tm (**OK**)

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya reaksi } (R) &= \frac{1}{55\%} \cdot \frac{E_{\text{berthing}}}{E_{\text{fender}}} \cdot R_{\text{fender}} \\
 &= \frac{1}{55\%} \cdot \frac{10,25 \text{ tm}}{24 \text{ tm}} \cdot 90 \text{ tm} \\
 &= 69,9 \text{ tm} < 90 \text{ tm} \text{ (**OK**)}
 \end{aligned}$$

Tabel 6. 12 Rekapitulasi perhitungan berthing force

| | 5000DWT | | 10000DWT | |
|--|---------|-------|----------|--------|
| Dipakai rubber fender type SV 800H grade V4 | E (t-m) | R (t) | E (t-m) | R (t) |
| E (deflection 45%) = 24 t-m | | | | |
| R (deflection 45%) = 90 t | | | | |
| Kondisi berthing vesel saat HWL : | | | | |
| Bidang sentuh Kapal 5000DWT 100% | 10.25 | 38.44 | | |
| Bidang sentuh Kapal 10000DW 100% | | | 21.06 | 78.99 |
| Kondisi berthing vesel saat LWS : | | | | |
| Bidang sentuh Kapal 5000DWT 55% | 10.25 | 69.90 | | |
| Bidang sentuh Kapal 10000DW 88% | | | 21.06 | 89.764 |

Reaksi yang diterima oleh dermaga diambil yang terbesar diantara 2 (dua) perhitungan di atas yaitu sebesar **89,76 ton** atau **90 ton**.

6.5 Pembebanan Pada Catwalk

6.5.1 Beban vertikal

- d. Beban mati merata
 - Beban plat lantai baja
 - Berat profil WF sebagai balok memanjang dan melintang
- e. Beban mati terpusat
 - Beban tiang sandaran 36,56 kg
- f. Beban hidup merata
 - Beban air hujan, $t = 5\text{cm}$
 $q = 0,05\text{ m} \times 1\text{ ton/m}^3 = 0,05\text{ ton/m}^2$
- g. Beban hidup terpusat
 - Beban pejalan kaki = 0,2 ton

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VII

ANALISA STRUKTUR

7.1 Gambaran Umum

Perencanaan struktur dalam tugas akhir ini meliputi perencanaan catwalk, mooring, berthing, platform dan trestle. Adapun proses analisis dilakukan dengan bantuan program SAP 2000 dengan input beban yang telah di perhitungkan pada bab VI.

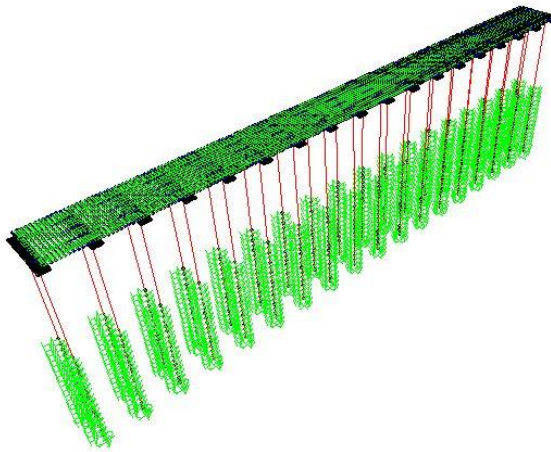
7.2 Perencanaan Trestle

Trestle berfungsi sebagai jembatan penghubung antara dermaga dan daratan pantai, sehingga panjang trestle yang rencanakan disesuaikan dengan jarak dermaga ke pantai yaitu 1200 meter.

7.2.1 Analisa Pembebanan pada Trestle

Pembebanan pada trestle telah dijelaskan pada subbab 4.7.5 dengan rincian :

- Beban UDL
- Beban air hujan
- Beban angin
- Beban pipa
- Beban dudukan pipa dan komponen pengikat
- Beban curah cair
- Beban pagar pengaman
- Beban gempa
- Beban truk



Gambar 7. 1 Permodelan struktur trestle dengan SAP2000

7.2.2 Perencanaan Penulangan Plat Lantai Trestle

Penulangan plat lantai dihitung dengan mengambil momen terbesar dari kombinasi beban yang didapat dari hasil analisa menggunakan program SAP 2000. Adapun rekapitulasi momen pada trestle dijelaskan pada **tabel 7.1** berikut.

Tabel 7. 1 Rekapitulasi momen pada plat trestle

| Momen | ton.m | Nominal (Nmm) |
|-------|----------|---------------|
| Mlx | 5.796154 | 57961540 |
| Mly | 5.796154 | 57961540 |
| Mtx | 6.930133 | 69301330 |
| Mty | 7.917833 | 79178330 |

Data perencanaan :

Panjang trestle 1200m, terdapat dilatasi setiap 100m

Lebar plat ditinjau $b = 1000 \text{ mm}$

Tebal plat $h = 300 \text{ mm}$

Tebal selimut beton $p = 40 \text{ mm}$

Diameter tulangan lentur $= 16 \text{ mm}$

Tebal efektif :

$$dx = h - p - \frac{D}{2} = 252 \text{ mm}$$

$$dy = h - p - \frac{D}{2} - D = 236 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 29,05} = 16,199$$

Mutu beton :

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,85 - (0,007(29,05 \text{ MPa} - 28 \text{ MPa}))$$

$$= 0,8425$$

Mutu baja :

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

7.2.2.1 Perhitungan Tulangan Tumpuan Arah X

$$Mu = 69301330 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{69301330 \text{ Nmm}}{0,8} = 86626662,5 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{86626662,5}{1000 \cdot 252^2} = 1,364$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0238$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 1,346}{400}} \right) = 0,00351$$

$$\rho_{\max} > \rho > \rho_{\min}$$

Maka digunakan $\rho = 0,00351$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,00351 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 252 \text{ mm} = 884,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan diameter D16 – 200

$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b/s \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot \frac{1000}{200} = 1005,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat, $A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned} T &= A_{st} \cdot f_y \\ &= 1005,3 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 402123,85 \text{ N} \\ a &= \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{402123,85 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 1000} = 16,28 \text{ mm} \\ \emptyset \cdot M_n &= \phi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \cdot 402123,85 \text{ N} \left(252 \text{ mm} - \frac{16,28 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 78448692,96 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat, $\emptyset M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$

7.2.2.2 Perhitungan Tulangan Tumpuan Arah Y

$$\begin{aligned} M_u &= 79178330 \text{ Nmm} \\ M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{79178330 \text{ Nmm}}{0,8} = 98972912,5 \text{ Nmm} \\ R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{98972912,5}{1000 \cdot 236^2} = 1,77 \\ \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\ \rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312 \\ \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234 \\ \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 1,77}{400}} \right) = 0,0046 \end{aligned}$$

$\rho_{maks} > \rho > \rho_{min}$

Maka digunakan $\rho = 0,0046$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0046 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 236 \text{ mm} = 1089,15 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan diameter D16 – 150

$$A_{st} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b/s$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot \frac{1000}{150} = 1340,41 \text{ mm}^2$$

Syarat, **$A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$**

Cek kemampuan nominal :

$$T = A_{st} \cdot f_y$$

$$= 1340,41 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 536165,14 \text{ N}$$

$$a = \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{536165,14 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 1000} = 21,71 \text{ mm}$$

$$\phi \cdot M_n = \phi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,8 \cdot 536165,14 \text{ N} \left(236 \text{ mm} - \frac{21,71 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$= 96571131,35 \text{ Nmm}$$

Syarat, **$\phi M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$**

7.2.2.3 Perhitungan Tulangan Lapangan Arah X

$$M_u = 57961540 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{57961540 \text{ Nmm}}{0,8} = 72451925 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{72451925}{1000 \cdot 252^2} = 1,14$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 1,14}{400}} \right) = 0,0029$$

$\rho_{maks} > \rho < \rho_{min}$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 252 \text{ mm} = 882 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan diameter D16 – 200

$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b/s \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot \frac{1000}{200} = 1005,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat, **$A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$**

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned} T &= A_{st} \cdot f_y \\ &= 1005,3 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 402123,85 \text{ N} \\ a &= \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{402123,85 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 1000} = 16,28 \text{ mm} \\ \emptyset \cdot Mn &= \varphi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \cdot 402123,85 \text{ N} \left(252 \text{ mm} - \frac{16,28 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 78448692,96 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat, **$\emptyset Mn > Mu \rightarrow \text{OK}$**

7.2.2.4 Perhitungan Tulangan Lapangan Arah Y

$$\begin{aligned} Mu &= 57961540 \text{ Nmm} \\ Mn &= \frac{Mu}{\varphi} = \frac{57961540 \text{ Nmm}}{0,8} = 72451925 \text{ Nmm} \\ Rn &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{72451925}{1000 \cdot 236^2} = 1,3 \\ \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\ \rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312 \\ \rho_{maks} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 1,346}{400}} \right) = 0,0033\end{aligned}$$

$\rho_{maks} > \rho > \rho_{min}$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$\begin{aligned}As &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 236 \text{ mm} = 826 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Direncanakan tulangan diameter D16 – 200

$$\begin{aligned}Ast &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b/s \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot \frac{1000}{200} = 1005,3 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat, **$Ast > As \rightarrow OK$**

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned}T &= Ast \cdot fy \\ &= 1005,3 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 402123,85 \text{ N} \\ a &= \frac{T}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{402123,85 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 1000} = 16,28 \text{ mm} \\ \emptyset \cdot Mn &= \phi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \cdot 402123,85 \text{ N} \left(236 \text{ mm} - \frac{16,28 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 73301507,56 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Syarat, **$\emptyset Mn > Mu \rightarrow OK$**

7.2.3 Perencanaan Penulangan Balok Trestle

Balok pada trestle terdiri dari balok melintang (cap beam), balok kantilever kanan dan kiri, serta balok memanjang. Berikut ini akan diuraikan cara perhitungan penulangan balok (balok memanjang trestle 50/70 cm), baik tulangan lentur, torsi maupun geser. Untuk perhitungan tulangan balok lainnya disajikan dalam lampiran.

Berikut adalah output gaya-gaya dalam yang bekerja pada balok memanjang trestle 50/70 cm.

Tabel 7. 2 Rekapitulasi momen pada balok trestle

| Gaya | | ton.m | Nominal (Nmm) |
|------|---------|------------|---------------|
| Mtum | positif | 21.3369016 | 213369015.9 |
| | negatif | 11.023839 | 110238390 |
| Mlap | positif | 5.62496536 | 56249653.58 |
| | negatif | 3.64385351 | 36438535.1 |
| Vu | | 28.61 | 286100 |
| Tu | | 9.92 | 99200000 |

Data perencanaan :Lebar balok $b = 500 \text{ mm}$ Tinggi balok $h = 700 \text{ mm}$ Tebal selimut beton $p = 40 \text{ mm}$ Diameter tulangan lentur $= 16 \text{ mm}$ Diameter tulangan geser $= 13 \text{ mm}$ Diameter tulangan torsi $= 13 \text{ mm}$ $\phi_{\text{lentur}} = 0,8$ $\phi_{\text{geser}} = 0,75$ $\phi_{\text{torsi}} = 0,75$ $m = 16,199$

Tebal efektif

$$d = h - p - D_{\text{lentur}} - \frac{D_{\text{lentur}}}{2} - D_{\text{geser}}$$

$$= 623 \text{ mm}$$

Mutu beton : $f_c' = 29,05 \text{ MPa}$

$$\beta = 0,85 - (0,007(29,05 \text{ MPa} - 28 \text{ MPa}))$$

$$= 0,8425$$

Mutu baja : $F_y \text{ lentur (fyl)} = 400 \text{ MPa}$ $F_y \text{ puntir (fyt)} = 240 \text{ MPa}$ $F_y \text{ geser (fyv)} = 240 \text{ MPa}$ $E_s = 200.000 \text{ MPa}$

7.2.3.1 Perhitungan Tulangan Lentur Tumpuan Tarik

$$\begin{aligned}
 Mu &= 213369016 \text{ Nmm} \\
 Mn &= \frac{Mu}{\varphi} = \frac{213369016 \text{ Nmm}}{0,8} = 266711270 \text{ Nmm} \\
 Rn &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{266711270}{500 \cdot 623^2} = 1,37 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 \rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0317 = 0,0234 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 1,346}{400}} \right) = 0,00353
 \end{aligned}$$

$\rho_{\max} > \rho > \rho_{\min}$

Maka digunakan $\rho = 0,00353$

$$\begin{aligned}
 As &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,00353 \cdot 500 \text{ mm} \cdot 632 \text{ mm} = 1101,83 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan diameter D16 – 6

$$\begin{aligned}
 Ast &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b \cdot n \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 500 \cdot 6 = 1206,37 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat, **$Ast > As \rightarrow \text{OK}$**

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned}
 T &= Ast \cdot f_y \\
 &= 1206,37 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 482548,63 \text{ N} \\
 a &= \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{482548,63 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 500} = 39,08 \text{ mm} \\
 \emptyset \cdot Mn &= \varphi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \cdot 482548,63 \text{ N} \left(632 \text{ mm} - \frac{39,08 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 232958144 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat, **$\emptyset Mn > Mu \rightarrow \text{OK}$**

7.2.3.2 Perhitungan Tulangan Lentur Tumpuan Tekan

$$\begin{aligned}
 \mu_u &= 110238390 \text{ Nmm} \\
 \mu_n &= \frac{\mu_u}{\varphi} = \frac{110238390 \text{ Nmm}}{0,8} = 137797988 \text{ Nmm} \\
 R_n &= \frac{\mu_n}{b \cdot d^2} = \frac{137797988}{500 \cdot 623^2} = 0,71 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 \rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 1,346}{400}} \right) = 0,0018
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} > \rho > \rho_{\min}$$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0035 \cdot 500 \text{ mm} \cdot 632 \text{ mm} = 1090,25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan diameter D16 – 6

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b \cdot n \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 500 \cdot 6 = 1206,37 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat, } A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$$

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned}
 T &= A_{st} \cdot f_y \\
 &= 1206,37 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 482548,63 \text{ N} \\
 a &= \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{482548,63 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 500} = 39,08 \text{ mm} \\
 \emptyset M_n &= \varphi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \cdot 482548,63 \text{ N} \left(632 \text{ mm} - \frac{39,08 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 232958144 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat, } \emptyset M_n > \mu_u \rightarrow \text{OK}$$

7.2.3.3 Perhitungan Tulangan Lentur Lapangan Tarik

$$\begin{aligned}
 Mu &= 56249653,6 \text{ Nmm} \\
 Mn &= \frac{Mu}{\varphi} = \frac{56249653,6 \text{ Nmm}}{0,8} = 70312067 \text{ Nmm} \\
 Rn &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{70312067}{500 \cdot 623^2} = 0,36 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 \rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,19 \cdot 1,346}{400}} \right) = 0,0009
 \end{aligned}$$

$\rho_{\max} > \rho > \rho_{\min}$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$\begin{aligned}
 As &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0035 \cdot 500 \text{ mm} \cdot 632 \text{ mm} = 1090,25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan diameter D16 – 6

$$\begin{aligned}
 Ast &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b \cdot n \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 500 \cdot 6 = 1206,37 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat, **$Ast > As \rightarrow \text{OK}$**

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned}
 T &= Ast \cdot f_y \\
 &= 1206,37 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 482548,63 \text{ N} \\
 a &= \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{482548,63 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 500} = 39,08 \text{ mm} \\
 \emptyset \cdot Mn &= \varphi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \cdot 482548,63 \text{ N} \left(632 \text{ mm} - \frac{39,08 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 232958144 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat, **$\emptyset Mn > Mu \rightarrow \text{OK}$**

7.2.3.4 Perhitungan Tulangan Lentur Lapangan Tekan

$$\begin{aligned}
 Mu &= 36438535,1 \text{ Nmm} \\
 Mn &= \frac{Mu}{\varphi} = \frac{36438535,1 \text{ Nmm}}{0,8} = 45548168,9 \text{ Nmm} \\
 Rn &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{45548168,9}{500 \cdot 623^2} = 0,234 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 \rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 1,346}{400}} \right) = 0,0005
 \end{aligned}$$

$\rho_{\max} > \rho > \rho_{\min}$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$\begin{aligned}
 As &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0035 \cdot 500 \text{ mm} \cdot 632 \text{ mm} = 1090,25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan diameter D16 – 6

$$\begin{aligned}
 Ast &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b \cdot n \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 500 \cdot 6 = 1206,37 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat, **$Ast > As \rightarrow \text{OK}$**

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned}
 T &= Ast \cdot f_y \\
 &= 1206,37 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 482548,63 \text{ N} \\
 a &= \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{482548,63 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 500} = 39,08 \text{ mm} \\
 \emptyset \cdot Mn &= \varphi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \cdot 482548,63 \text{ N} \left(632 \text{ mm} - \frac{39,08 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 232958144 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat, **$\emptyset Mn > Mu \rightarrow \text{OK}$**

7.2.3.5 Perhitungan Tulangan Torsi

Berikut adalah rincian perhitungan tulangan torsi balok 50/70 cm. perhitungan ini juga menentukan tulangan yang akan digunakan.

$$\begin{aligned} T_u &= 99200000 \text{ Nmm} \\ \theta &= 45^\circ \\ T_n &= T_u / \phi \\ &= 99200000 / 0,75 \\ &= 132266667 \text{ N.mm} \\ V_u &= 286100 \text{ N} \end{aligned}$$

Periksa kebutuhan tulangan torsi berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.5

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \cdot h \\ &= 500 \cdot 700 \\ &= 350000 \text{ mm}^2 \\ P_{cp} &= 2 (b + h) \\ &= 2 (500 + 700) = 2400 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari beberapa kondisi dibawah ini.

$$\begin{aligned} T_{u \text{ min}} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{29,05} \left(\frac{350000^2}{2400} \right) \\ &= 17125263,84 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimal T_u dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned} T_{u \text{ max}} &= \phi 0,33 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{29,05} \left(\frac{350000^2}{2400} \right) \\ &= 68088398,39 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek pengaruh momen puntir

$T_u < T_{u \text{ min}}$, maka tulangan puntir diabaikan

$T_u > T_{u \text{ min}}$, maka memerlukan tulangan puntir

Masuk pada kondisi :

$$T_u > T_{u \min}$$

99200000 > 17125263 (maka memerlukan tulangan puntir)

Periksa kapasitas penampang untuk menahan torsi berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.5. Jika diasumsikan diameter sengkang adalah 13 mm, maka:

$$\begin{aligned} b_h &= b - 2p - D_{geser} \\ &= 500 - 2.40 - 13 = 407 \text{ mm} \\ h_h &= h - 2p - D_{geser} \\ &= 700 - 2.40 - 13 = 607 \text{ mm} \\ A_{oh} &= b_h \cdot h_h \\ &= 407 \text{ mm} \cdot 607 \text{ mm} = 247049 \text{ mm}^2 \\ A_o &= 0,85 \cdot A_{oh} \\ &= 0,85 \cdot 247049 \text{ mm}^2 = 209991,65 \text{ mm}^2 \\ Ph &= 2 (b_h + h_h) \\ &= 2 (407 \text{ mm} + 607 \text{ mm}) = 2028 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol kemampuan dimensi penampang :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \cdot h}\right)^2 + \left(\frac{T_{u,ph}}{1,7 \cdot A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b \cdot h} + \frac{2\sqrt{f_c'}}{3}\right)$$

dimana:

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 279820,72 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Sehingga kontrol kemampuan dimensi penampang:

$$0,00008174 < 3,29 \text{ (OK)}$$

Maka penampang balok cukup untuk menahan torsi yang terjadi.

Perhitungan kebutuhan tulangan :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \theta}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{132266667 \text{ Nmm}}{2 \times 209991,65 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Nmm} \times \text{Cot } 45}$$

$$\frac{At}{s} = 0,787 \text{ mm}$$

Kebutuhan tulangan torsi arah longitudinal :

$$Al = \frac{At}{s} \times Poh \times \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \times \text{Cot}^2 \emptyset$$

$$Al = 0,787 \text{ mm} \times 2028 \text{ mm} \times \left(\frac{240 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \right) \times \text{Cot}^2 45$$

$$Al = 1596,71 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil nilai dengan ketentuan :

$$\frac{At}{s} \geq \frac{0,175 \times B_w}{F_{yt}}$$

$$0,787 \text{ mm} \geq \frac{0,175 \times 500 \text{ mm}}{240}$$

$$0,787 \text{ mm} \geq 0,3645 \text{ mm}$$

Maka nilai At/s diambil = 0,3645 mm

Cek nilai Al min dengan persamaan :

$$\left(\frac{0,42 \times \sqrt{f'c'} \times A_{cp}}{F_y} - \frac{At}{s} \right) \times Poh \times \frac{F_{yt}}{F_y}$$

Maka nilai Al_{min} :

$$\left(\frac{0,42 \times \sqrt{29,05 \text{ Mpa}} \times 350000 \text{ mm}^2}{400 \text{ Mpa}} - 0,3645 \text{ mm} \right) \times 2028 \text{ mm} \times \frac{240 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}}$$

$$Al_{min} = 1537,12 \text{ mm}^2$$

Kontrol penggunaan Al dengan 2 kondisi yakni

$$Al_{\text{perlu}} \leq Al_{\text{min}} \text{ Maka menggunakan } Al_{\text{min}}$$

$$Al_{\text{perlu}} \geq Al_{\text{min}} \text{ Maka menggunakan } Al_{\text{perlu}}$$

Maka ;

$$A_{\text{perlu}} \leq A_{\text{min}}$$

$$1596,71 \text{ mm}^2 > 1537,12 \text{ mm}^2$$

Sehingga yang digunakan nilai $A_{\text{perlu}} = 1596,71 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok sehingga:

$$\frac{A_t}{4} = \frac{1596,71 \text{ mm}^2}{4} = 399,17 \text{ mm}^2$$

Pengecekan ulang tulangan lentur terhadap torsi

Tulangan Lentur Bawah :

$$A_s \text{ baru} = A_s \text{ lentur} + A_t/4$$

$$= 1090,25 + 399,17 = 1489,42 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ lama} = (\text{untuk tulangan lentur 6-D16})$$

$$= 1206,37 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ baru} > A_s \text{ lama}$$

Kondisi tulangan lentur 6-D16 kurang mencukupi untuk torsi yang terjadi, sehingga di lakukan perancangan ulang dengan tulangan : 8-D16

$$A_{st} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 8 = 1608,49 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} > A_s \text{ baru} \rightarrow \mathbf{OK}$$

Tulangan Lentur Atas :

$$A_s \text{ baru} = A_s \text{ lentur} + A_t/4$$

$$= 1101,83 + 399,17 = 1501,01 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ lama} = (\text{untuk tulangan lentur 6-D16})$$

$$= 1206,37 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ baru} > A_s \text{ lama}$$

Kondisi tulangan lentur 6-D16 kurang mencukupi untuk torsi yang terjadi, sehingga di lakukan perancangan ulang dengan tulangan : 8-D16

$$A_{st} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 8 = 1608,49 \text{ mm}^2$$

$A_{st} > A_s \text{ baru} \rightarrow \text{OK}$

Perhitungan Tulangan Samping Akibat Torsi

$A_s \text{ perlu} = A_1/4$

$$= 399,17 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan : 4-D13

$$A_{st} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 4 = 530,92 \text{ mm}^2$$

$A_{st} > A_s \text{ perlu} \rightarrow \text{OK}$

7.2.3.6 Perhitungan Tulangan Geser

Untuk perhitungan penulangan geser, nilai V_u tumpuan diambil dari SAP2000 dan berikut merupakan gaya geser yang bekerja pada balok memanjang trestle 50/70 cm.

$$V_u = 286100 \text{ N}$$

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.1 V_c untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja dapat dihitung sebagai berikut dengan $\lambda = 1$ untuk beton nominal normal berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 8.6.1

$$- V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b \times d = 279820,72 \text{ N}$$

$$- \phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 279820,72 \text{ Nmm} = 209865,54 \text{ N}$$

$$- 0,5 \cdot \phi \cdot V_c = 0,5 \cdot 209865,54 \text{ Nmm} = 104932,77 \text{ N}$$

$$V_{s_{\min}} = \frac{b \cdot d}{3} = \frac{500 \text{ mm} \cdot 623 \text{ mm}}{3} = 103833,3 \text{ mm}$$

$$- \phi (V_c + V_{s_{\min}}) = 0,75 (279820,72 + 103833,3) = 287740,53 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_{s_{\max}} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= \frac{1}{3} \times \sqrt{29,05 \text{ N/mm}^2} \times 500 \text{ mm} \times 623 \text{ mm} \\ &= 559641,43 \text{ N} \end{aligned}$$

- $\varphi (V_c + V_{s_{\max}}) = 0,75 (279820,72 + 5596411,43)$
 $= 629596,61 \text{ N}$
 $2V_{s_{\max}} = 2 \times 559641,43 \text{ MPa} = 1119282 \text{ N}$
- $\varphi (V_c + 2V_{s_{\max}}) = 0,75. (279820,72 + 1119282)$
 $= 1049327 \text{ N}$

Cek kondisi :

1. Kondisi Geser 1 \rightarrow Tidak memerlukan tulangan geser
 $V_u \leq 0,5. \varphi. V_c$
 $286100 \text{ N} > 104932,77 \text{ N}$ **(Tidak memenuhi)**
2. Kondisi Geser 2 \rightarrow memerlukan tulangan geser minimum
 $0,5. \varphi. V_c \leq V_u \leq \varphi. V_c$
 $104932,77 \text{ N} \leq 286100 \text{ N} > 209865,54 \text{ N}$ **(Tidak memenuhi)**
3. Kondisi Geser 3 \rightarrow memerlukan tulangan geser minimum
 $\varphi. V_c \leq V_u \leq \varphi(V_c + V_{s_{\min}})$
 $209865,54 \text{ N} \leq 286100 \text{ N} \leq 287740,53 \text{ N}$
(Memenuhi)
4. Kondisi Geser 4 \rightarrow memerlukan tulangan geser
 $\varphi(V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \varphi(V_c + V_{s_{\max}})$
5. Kondisi Geser 5 \rightarrow memerlukan tulangan geser
 $\varphi(V_c + V_{s_{\max}}) \leq V_u \leq \varphi(V_c + 2V_{s_{\max}})$

Kondisi geser 3 memenuhi syarat, maka dipasang geser minimum.

Direncanakan tulangan geser dengan jarak **200 mm**

$$- Av = \frac{b. s}{3. f_y} = \frac{500 \text{ mm}. 200 \text{ mm}}{3. 240 \text{ MPa}} = 138,889 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan geser **2 kaki D13 - 200 mm**

$$- Av_{pakai} = \frac{1}{4}. \pi. D^2. n \text{ kaki}$$

$$= \frac{1}{4}. \pi. 13^2. 2 = 265,464 \text{ mm}^2$$

$$- \quad V_S = \frac{A_{v_{pakai}} \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{265,464 \text{ mm}^2 \cdot 240 \text{ MPa} \cdot 623 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \\ = 198461,32 \text{ N}$$

Cek,

$$V_u \leq \phi(V_c + V_s)$$

$$286100 \text{ N} \leq 0,75(279820,72 \text{ N} + 198461,32 \text{ N})$$

$$286100 \text{ N} \leq 358711,53 \text{ N} \quad \textbf{(OK)}$$

Tabel 7. 3 Rekapitulasi perhitungan balok memanjang dan melintang pada trestle

| Tipe Balok | Dimensi (mm) | | Tul. tumpuan | | Tul lapangan | | Tulangan geser | Tulangan torsi |
|------------|--------------|-----|--------------|--------|--------------|--------|--------------------|----------------|
| | b | h | tarik | tekan | tarik | tekan | | |
| Memanjang | 500 | 700 | 8 D16 | 8 D16 | 8 D16 | 8 D16 | 2 kaki D13 - 200mm | 4 D13 |
| Melintang | 500 | 700 | 10 D16 | 10 D16 | 10 D16 | 10 D16 | 2 kaki D13 - 200mm | 6 D13 |

7.2.4 Perhitungan Kolom Virtual

Kebutuhan penulangan kolom virtual trestle diambil dari peraturan SNI.

7.2.4.1 Penulangan kolom virtual

Kebutuhan kolom virtual trestle diambil dari hasil analisa SAP2000. Berdasarkan hasil output kebutuhan penulangan kolom virtual diketahui kebutuhan tulangan kolom virtual adalah sebagai berikut:

Kolom virtual 50x50:

- Cek ratio tulangan $\rho = 1\% - 6\%$
- $A_{\text{penampang}} = 500 \text{ mm} \cdot 500 \text{ mm} = 250000 \text{ mm}^2$
- Maka dipasang **10 D25**, $A_s = 4908,73 \text{ mm}^2$
- $\rho = 4908,73 \text{ mm}^2 / 250000 \text{ mm}^2 = 0,019 = 1,96\% \text{ (OK)}$

7.2.4.2 Panjang penyaluran kolom virtual

Panjang penyaluran tulangan kolom virtual dihitung sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 12.2.5 yaitu diambil yang terbesar :

- panjang minimum adalah 200 mm
- $Ldc = db \frac{0,24 \cdot fy}{\lambda \sqrt{fc'}} = 25 \text{ mm} \frac{0,24 \cdot 400}{\lambda \sqrt{29,05}} = 445,28 \text{ mm}$
- $Ldc = 0,043 \cdot fy \cdot db = 0,043 \cdot 400 \text{ MPa} \cdot 25 \text{ mm}$
 $= 430 \text{ mm}$

Maka dipakai panjang penyaluran 445,28 mm ~ 450 mm

7.2.5 Perencanaan Pile Cap trestle

Data perencanaan :

| | |
|------------------|-------------------------|
| Panjang pile cap | $b_x = 8000 \text{ mm}$ |
| Lebar pile cap | $b_y = 1300 \text{ mm}$ |

Tinggi pile cap $h = 1500 \text{ mm}$

Tebal selimut beton $p = 100 \text{ mm}$

Diameter tulangan lentur $= 25 \text{ mm}$

Tebal efektif :

$$dx = h - p - \frac{D}{2} = 1387,5 \text{ mm}$$

$$dy = h - p - \frac{D}{2} - D = 1362,5 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 29,05} = 16,199$$

Mutu beton :

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,85 - (0,007(29,05 \text{ MPa} - 28 \text{ MPa})) = 0,8425$$

Mutu baja :

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

Dari analisa struktur yang telah dilaksanakan dengan menggunakan program SAP 2000, di dapatkan momen seperti yang disajikan dalam tabel :

Tabel 7. 4 Rekapitulasi momen pada pile cap trestle

| Momen | ton.m | Nominal (Nmm) |
|-------|----------|---------------|
| M11 | 0.791576 | 7915762 |
| M22 | 0.275471 | 2754714.7 |

7.2.5.1 Perhitungan Tulangan Arah X

$$M_u = 7915762 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{7915762 \text{ Nmm}}{0,8} = 9894702,5 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{9894702,5}{1300 \cdot 1387,5^2} = 0,00395$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312 \\
 \rho_{maks} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 0,00395}{400}} \right) \\
 &= 9,8 \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

$\rho_{maks} > \rho < \rho_{min}$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \cdot 1300 \text{ mm} \cdot 1387,5 \text{ mm} = 6313,125 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan diameter D25 – 100

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b/s \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot \frac{1300}{100} = 6381,36 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat, **$A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$**

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned}
 T &= A_{st} \cdot f_y \\
 &= 6381,36 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 2552544,03 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$a = \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{2552544,03 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 1300} = 79,51 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset \cdot M_n &= \phi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \cdot 2552544,03 \text{ N} \left(1387,5 \text{ mm} - \frac{79,51 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 2752134712 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat, **$\emptyset M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$**

7.2.5.2 Perhitungan Tulangan Arah Y

$$M_u = 2754714,7 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{2754714,7 \text{ Nmm}}{0,8} = 3443393,37 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{3443393,37}{1300 \cdot 1362,5^2} = 0,0014$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 0,0014}{400}} \right) \\ &= 3,5 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

$\rho_{\max} > \rho < \rho_{\min}$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \cdot 1300 \text{ mm} \cdot 1362,5 \text{ mm} = 6199,37 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan diameter D25 – 100

$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b/s \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot \frac{1300}{100} = 6381,36 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat, **$A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$**

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned} T &= A_{st} \cdot f_y \\ &= 6381,36 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 2552544,03 \text{ N} \end{aligned}$$

$$a = \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{2552544,03 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 1300} = 79,51 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot M_n &= \phi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \cdot 2552544,03 \text{ N} \left(1362,5 \text{ mm} - \frac{79,51 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 2752134712 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat, **$\phi M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$**

7.2.5.3 Kontrol geser pons

$P = 39,87 \text{ ton}$ (output SAP2000)

Diameter tiang pancang = 812,8 mm

Tebal tiang pancang = 16 mm

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(a+b+(2h)) 0,8 \cdot h \cdot \sqrt{f_c'}}{6} \\
 &= \frac{(812,8 + 812,8 + (2 \cdot 1500)) 0,8 \cdot 812,8 \cdot \sqrt{29,05}}{6} \\
 &= 4986217 \text{ N} = 498,6217 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$- \quad 2 \cdot P = 2 \cdot 39,87 \text{ ton} = 79,74 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat,} \quad 2 \cdot P &\leq \frac{(a+b+(2h)) 0,8 \cdot h \cdot \sqrt{f_c'}}{6} \\
 79,74 \text{ ton} &\leq 498,6217 \text{ ton (OK)}
 \end{aligned}$$

Pile cap kuat menahan gaya geser.

7.2.6 Perhitungan panjang penyaluran ke struktur atas pada trestle

Data perencanaan :

| | |
|---------------------|-------------------------------|
| Lebar pile cap | = 1300 mm |
| Tinggi pile cap (h) | = 1500 mm |
| Tebal selimut (p) | = 100 mm |
| Tebal efektif (d) | = 1387,5 mm |
| D tiang | = 812,8 mm |
| Tebal tiang | = 16 mm |
| D dalam tiang | = 780,8 mm |
| ϕ | = 0,7 |
| f_c' | = 29,05 Mpa |
| f_y | = 400 Mpa |
| D. tul pile cap | = 25 mm |
| D. tul geser | = 13 mm |
| σ_e | = 460 MPa |
| tebal las | = 5 mm |
| P_{kerja} | = 551427 N (out put SAP 2000) |

7.2.6.1 Kontrol kekuatan beton dalam tiang

$$P_{\text{beton dalam tiang}} \geq P_{\text{kerja}}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{beton dalam tiang}} &= A_{\text{beton}} \cdot 0,85 \cdot \phi \cdot f_c' \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 812,8^2 \cdot 0,85 \cdot 0,7 \cdot 29,05 \text{ MPa} \\ &= 8968511,6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_{\text{beton dalam tiang}} > P_{\text{kerja}} \rightarrow \text{OK}$$

7.2.6.2 Kontrol retak pile cap

$$\begin{aligned} V_c &= 1/6 \cdot f_c' \cdot b \cdot d \\ &= 1/6 \cdot 29,05 \cdot 1300 \cdot 780,8 \\ &= 4914485,33 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } P_{\text{kerja}} &\leq \phi \cdot 2V_c \\ 551427 \text{ N} &< 0,7 \cdot 2 \cdot 4914485,33 \text{ N} \\ 551427 \text{ N} &< 6880279,5 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

7.2.6.3 Kontrol kekuatan las

Direncanakan menggunakan las E 60 XX dengan tegangan izin tarik las (σ_e) = 460 MPa. Ketebalan las rencana adalah 5 mm. Maka kekuatan las dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kekuatan las} &= \text{keliling las} \times \text{tebal las} \times \sigma_e \\ &= \pi \cdot 812,8 \text{ mm} \cdot 5 \cdot 460 \text{ MPa} \\ &= 5873018,97 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} \text{Kekuatan las} &> P_{\text{kerja}} \\ 5873018,97 \text{ N} &> 551427 \text{ N} \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

7.2.6.4 Jarak shear ring

$$\begin{aligned} s \cdot \sqrt{f_c'} \cdot 1/6 &< 0,85 \cdot f_c' \cdot D \\ s &< \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot D}{\sqrt{f_c'} \cdot 1/6} \\ s &< \frac{0,85 \cdot 29,05 \text{ MPa} \cdot 25}{\sqrt{29,05} \cdot 1/6} \\ s &< 687,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak maksimum shear ring adalah 200 mm, maka dipasang tulangan shear ring D13 – 200 mm.

7.2.6.5 Perhitungan tulangan dari tiang ke struktur atas

Perhitungan tulangan dari tiang ke struktur atas diambil nilai yang terbesar antara cara berikut :

$$\begin{aligned} - \quad A_{\text{Sperlu}} \cdot f_{y\text{tulangan}} &= P / \phi \\ A_{\text{Sperlu}} &= P / (\phi \cdot f_{y\text{tulangan}}) \\ &= 551427 \text{ N} / (0,7 \cdot 400) = 1969,38 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

– 1% luas penampang beton:

$$\begin{aligned} A_{\text{Sperlu}} &= 0,01 \cdot L_{\text{beton dalam tiang}} \\ &= 0,01 \cdot 0,25 \pi \cdot 780,8^2 = 4788,169 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka diambil A_{Sperlu} terbesar yaitu 4788,169 mm²

Di gunakan tulangan **10 – D25**

$$A_{\text{st}} = \frac{1}{4} \pi 25^2 \cdot 10 = 4908,739 \text{ mm}^2 \quad A_{\text{st}} > A_{\text{S}} \rightarrow \text{OK}$$

Nilai yang diperhitungkan untuk panjang penyaluran dalam tekan yaitu dihitung sesuai dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} S &= db \cdot \frac{f_y}{4\sqrt{f_c'}} \\ &= 25 \text{ mm} \cdot \frac{400 \text{ MPa}}{4\sqrt{29,05 \text{ MPa}}} = 463,83 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dan tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned} S_{\text{min}} &= 0,5 \times \text{tinggi pile cap} \\ &= 0,5 \times 1500 \text{ mm} = 750 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran terbesar yaitu 750 mm, dipasang panjang penyaluran tekan = 800 mm

Panjang penyaluran dasar tulangan dalam kondisi tarik dihitung menurut **SNI – 2847 2013 pasal 14.2** dengan metode sebagai berikut :

$$L_{dh} = \frac{3 \cdot f_y \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{5 \cdot \sqrt{f_c'}} db$$

Dengan :

$$\alpha = 1$$

$$\beta = 1$$

$$\lambda = 1$$

Sehingga :

$$Idh = \frac{3.400.1.1.1}{5.\sqrt{29,05}}$$

$$= 1113,21 \text{ mm}$$

Sehingga dipakai panjang penyaluran dasar tulangan dalam kondisi tarik adalah 1200 mm

7.2.6.6 Perhitungan base plate

Base plate merupakan penahan beton segar saat proses pengisian beton tiang pancang. Base plate direncanakan dengan menggunakan plat baja dengan tebal 10 mm. Sedangkan untuk menahan base plate pada tiang pancang, digunakan tulangan pengait.

Berat yang harus dipikul oleh base plate adalah :

$$P = A_{\text{dalam tiang}} (t_p \cdot BJ_{\text{baja}} + BJ_{\text{beton}} \cdot L)$$

$$= \frac{1}{4} \pi (0,7808)^2 (0,01 \cdot 7850 + 2400 \cdot 1,2)$$

$$= 1525,031 \text{ kg}$$

Perhitungan pengait base plate :

$$A = P / \sigma$$

$$= (1525,031 \text{ kg}) / (1600 \text{ kg/cm}^2)$$

$$= 0,953 \text{ cm}^2 = 95,31 \text{ mm}^2$$

($\sigma = 1600 \text{ kg/cm}^2$ adalah tegangan izin pengait A307 dengan mutu normal.)

Direncanakan digunakan 4 pengait maka, As tiap pengait adalah :

$$As = 95,31 / 4 = 23,82 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai pengait **4 D10** ($Ast = 78,5 \text{ mm}^2$)

Syarat, $Ast > As \rightarrow \text{OK}$

7.2.7 Daya dukung dan kedalaman pondasi tiang pancang

7.2.7.1 Daya dukung tanah terhadap pondasi

Data pondasi :

Tabel 7. 5 Pondasi tiang pancang “Steel pipe pile”

| Diameter (mm) | Tebal (mm) | ASTM A252 Grade | Unit weight (kg/m) | Length (m) | Allowable | |
|------------------|---------------|-----------------------|--------------------------|---------------|---|---|
| | | | | | Mechanical | Strength |
| | | | | | Yield strength (N/mm ²) | Ultimate tensile strength (N/mm ²) |
| 812,8 | 16 | 2 | 391 | 6 – 16 | 240 | 415 |

Luas penampang dasar (A_p) = $\frac{1}{4} \pi \cdot 0,8128^2 = 0,5188 \text{ m}^2$

Keliling penampang (K_p) = $\pi \cdot 0,8128 = 2,55 \text{ mm}^2$

Perhitungan menggunakan **Metode Luciano Dacourt**

Resistance ultimate didasar pondasi :

$$Q_p = \alpha \cdot (N_p \cdot K) \cdot A_p$$

Dimana :

α = Base coefficient

N_p = Harga rata-rata N-SPT disekitar 4B diatas hingga dibawah dasar tiang pondasi (B = diameter tiang pondasi)

K = Koefisien karateristik tanah

12t/m² untuk lempung

20t/m² untuk lanau berlempung

26t/m² untuk lanau berpasir

40t/m² untuk pasir

Resistance ultimate akibat lekatan lateral:

$$Q_s = \beta \cdot \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) A_s$$

Dimana :

β = Koefisien Shaft

N_s = Harga rata-rata N SPT sepanjang tiang yang tertanam,
dengan batasan $3 < N < 50$

A_s = Keliling x panjang tiang tertanam (luas selimut tiang)

Tabel 7. 6 Tabel Base dan shaft coefficient untuk beberapa tipe tanah dan pondasi (Decourt & Quaresma, 1978 & Decourtetal, 1996)

| Pile | Clay | | Intermediate soil | | Sand | |
|------------------|----------|---------|-------------------|---------|----------|---------|
| | α | β | α | β | α | β |
| 1. Driven pile | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2. Bored pile | 0,85 | 0,8 | 0,60 | 0,65 | 0,5 | 0,5 |
| 3. Injected pile | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 | 3 |

Data tanah (SPT) :

Tabel 7. 7 Data tanah SPT

| KEDALAMAN MAN (meter) | DESKRIPSI TANAH | SPT (blow/feet) | | ti | ti/N | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------|-------------------------|--|-----------|---------------|----|---|----|---|----|---|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|--|--|
| 0 | SEABED | Jumlah (N) (Blow/ft) | <table border="1"><caption>SPT Data Points from Graph</caption><thead><tr><th>Depth (m)</th><th>SPT (blow/ft)</th></tr></thead><tbody><tr><td>-2</td><td>0</td></tr><tr><td>-5</td><td>1</td></tr><tr><td>-8</td><td>2</td></tr><tr><td>-11</td><td>48</td></tr><tr><td>-14</td><td>46</td></tr><tr><td>-17</td><td>60</td></tr><tr><td>-20</td><td>60</td></tr></tbody></table> | Depth (m) | SPT (blow/ft) | -2 | 0 | -5 | 1 | -8 | 2 | -11 | 48 | -14 | 46 | -17 | 60 | -20 | 60 | | |
| Depth (m) | SPT (blow/ft) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -2 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -5 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -8 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -11 | 48 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -14 | 46 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -17 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -20 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | LANAU LEMPUNG BERPASIR | | | 2 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | 1 | | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | LANAU PASIR BERKERIKIL | | | 3 | 0.12 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | PASIR BERLANAU BERKERIKIL | | 3 | 0.063 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | 48 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | 3 | 0.065 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | 46 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | 3 | 0.05 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | | | 3 | 0.05 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Σ | | | | 20 | 5.348 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N rata-rata | | | | | 3.740 | | | | | | | | | | | | | | | | |

Harga N dibawah muka air tanah harus dikoreksi terlebih dahulu menjadi N' berdasarkan teori dari Terzaghi & Peck.

$$N' = 0,15 + 0,5(N-15)$$

Dimana:

N = Jumlah pukulan (nilai SPT) dilapangan

N' = Harga N terkoreksi karena dibawah muka air tanah

Harga N' koreksi

Tabel 7. 8 Harga N' koreksi

| Kedalaman (m) | -2 | -4 | -6 | -8 | -10 | -12 | -14 | -16 | -18 | -20 |
|------------------|----|----|------|----|------|-----|------|------|------|------|
| N | 1 | 1 | 10 | 25 | 40 | 47 | 46 | 54 | 60 | 60 |
| N' | 8 | 8 | 12.5 | 20 | 27.5 | 31 | 30.5 | 34.5 | 37.5 | 37.5 |

Daya dukung tanah terhadap pondasi

Tabel 7. 9 Daya dukung tanah terhadap pondasi

| Kedalaman (m) | N | N' | Ap (m ²) | As (m ²) | Np | Ns | K (t/m ²) | Qp (ton) | Qs (ton) | Qu (ton) | Qijin (ton) |
|------------------|----|------|-------------------------|-------------------------|--------|-------|--------------------------|----------|-------------|-------------|----------------|
| -2 | 1 | 8 | 0.66 | 5.75 | 5.25 | 8 | 20 | 68.95 | 21.07 | 90.02 | 30.01 |
| -4 | 1 | 8 | 0.66 | 11.49 | 10.75 | 8 | 20 | 141.19 | 42.13 | 183.32 | 61.11 |
| -6 | 10 | 12.5 | 0.66 | 17.24 | 13.25 | 9.5 | 20 | 174.02 | 71.82 | 245.84 | 81.95 |
| -8 | 25 | 20 | 0.66 | 22.98 | 20 | 12.13 | 26 | 341.48 | 115.86 | 457.34 | 152.45 |
| -10 | 40 | 27.5 | 0.66 | 28.73 | 26.5 | 15.2 | 40 | 696.09 | 174.28 | 870.37 | 290.12 |
| -12 | 47 | 31 | 0.66 | 34.47 | 30 | 17.83 | 40 | 788.03 | 239.39 | 1027.42 | 342.47 |
| -14 | 46 | 30.5 | 0.66 | 40.22 | 31.625 | 19.64 | 40 | 830.72 | 303.55 | 1134.26 | 378.09 |
| -16 | 54 | 34.5 | 0.66 | 45.96 | 34.25 | 21.5 | 40 | 899.67 | 375.36 | 1275.03 | 425.01 |
| -18 | 60 | 37.5 | 0.66 | 51.71 | 36.75 | 23.28 | 40 | 965.34 | 452.92 | 1418.26 | 472.75 |
| -20 | 60 | 37.5 | 0.66 | 57.45 | 48.75 | 24.7 | 40 | 1280.55 | 530.49 | 1811.04 | 603.68 |

7.2.7.2 Output beban pondasi kombinasi

Dari analisa SAP2000 didapat Pu max pondasi sebesar 76,71 ton

7.2.7.3 Kontrol lendutan

Kontrol lendutan tiang pancang untuk mengetahui apakah besarnya lendutan yang terjadi masih dibawah lendutan ijin yang disyaratkan. Lendutan ijin yang

disyaratkan diambil sebesar 200 mm ke arah horizontal. Besarnya lendutan maksimum pada SAP2000 dengan kondisi beban ijin untuk tiang pancang baja diameter 812,8 mm tebal 16 mm yaitu 48 mm

Sehingga $48 \text{ mm} < 200 \text{ mm}$ (OK)

7.2.7.4 Kontrol kemampuan tiang pancang

a. Output gaya dalam tiang pancang akibat kombinasi beban ultimit

Gaya dalam maksimum yang terjadi pada sebuah tiang pondasi baja diameter 812,8mm; tebal 16 mm :

$$\text{Moment (M)} = 56,29$$

$$\text{Gaya geser (V)} = 14,45$$

$$\text{Gaya Aksial (P)} = 80,35$$

Dari output gaya dalam ini, dilakukan perhitungan / kontrol tiang pondasi ditinjau dari aspek kekuatan material (material resistance).

b. Material resistance of pile

Apabila direncanakan menggunakan “Steel Pipe Pile” dengan material baja ASTM A252 grade2. (Yield Strength 240 MPa & Tensile Strength 415 MPa), D 812,8 mm; tebal 16 mm diperoleh:

Tiang pancang baja (D 812,8 mm; tebal 16 mm)

$$\text{Modulus of section (Zx)} = 7820000 \text{ mm}^3$$

$$\text{Cross sectional wall area (Ag)} = 40050 \text{ mm}^2$$

$$f_{ijin} = 160 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} M_{allow} &= Zx \cdot f_{ijin} = 7820000 \text{ mm}^3 \cdot 160 \\ &= 1251200000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$= 125,12 \text{ ton.m} > M = 56,29 \text{ ton.m (OK)}$$

$$P_{\text{allow}} = A_g \cdot F_{\text{ijin}} = 40050 \text{ mm}^2 \cdot 160 \text{ N/mm}^2 = 6408000 \text{ N}$$

$$= 640,8 \text{ ton} > P = 80,35 \text{ (OK)}$$

7.2.7.5 Kesimpulan

Digunakan tiang pancang “Steel Pipe Pile” diameter 812,8 mm (sesuai dengan spek diatas) sampai kedalaman 6m dari seabed elv. -10 m dengan daya dukung :

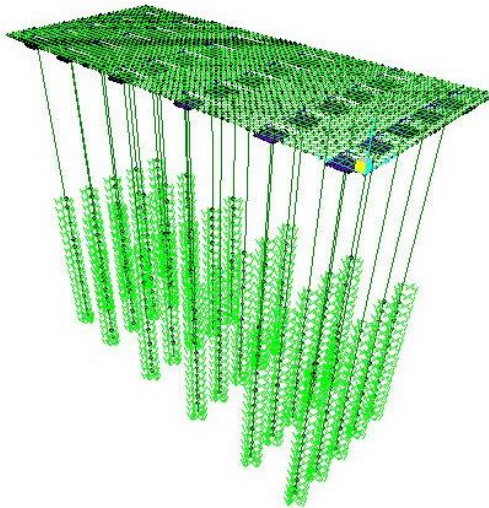
$$Q_u = 76,71 \text{ ton} < Q_{\text{ijin}} = 81,95 \text{ ton (OK)}$$

7.3 Perencanaan Struktur Platform

7.3.1 Analisa pembebanan pada platform

Beban – beban yang terjadi pada platform telah dibahas pada subbab 4.7.2 dengan rincian :

- Beban UDL
- Beban air hujan
- Beban *Marine Loading Arm*
- Beban *Monitoring house*
- Beban curah cair
- Beban pipa dan dudukan pipa
- Beban gempa



Gambar 7. 2 Permodelan struktur platform dengan SAP2000

7.3.2 Perencanaan Penulangan Plat Lantai Platform

Penulangan plat lantai dihitung dengan mengambil momen terbesar dari kombinasi beban yang didapat dari hasil analisa menggunakan program SAP 2000. Adapun rekapitulasi momen pada platform dijelaskan pada **tabel 7.1** berikut.

Tabel 7. 10 Rekapitulasi momen pada plat platform

| Momen | ton.m | Nominal (Nmm) |
|-------|----------|---------------|
| Mlx | 8.172167 | 81721670 |
| Mly | 3.91 | 39100000 |
| Mtx | 4.9938 | 49938000 |
| Mty | 7.567427 | 75674270 |

Data perencanaan :

Lebar plat ditinjau $b = 1000 \text{ mm}$

Tebal plat $h = 300 \text{ mm}$

Tebal selimut beton $p = 40 \text{ mm}$

Diameter tulangan lentur $= 16 \text{ mm}$

Tebal efektif :

$$dx = h - p - \frac{D}{2} = 252 \text{ mm}$$

$$dy = h - p - \frac{D}{2} - D = 236 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 29,05} = 16,199$$

Mutu beton :

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,85 - (0,007(29,05 \text{ MPa} - 28 \text{ MPa}))$$

$$= 0,8425$$

Mutu baja :

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

7.3.2.1 Perhitungan Tulangan Tumpuan Arah X

$$Mu = 49938000 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{49938000 \text{ Nmm}}{0,8} = 62422500 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{62422500}{1000 \cdot 252^2} = 0,982$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 0,982}{400}} \right) = 0,0025$$

$$\rho_{\max} > \rho < \rho_{\min}$$

Maka digunakan $\rho = 0,0025$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 252 \text{ mm} = 882 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan diameter D16 – 200

$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b/s \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot \frac{1000}{200} = 1005,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat, $A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned} T &= A_{st} \cdot f_y \\ &= 1005,3 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 402123,85 \text{ N} \\ a &= \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{402123,85 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 1000} = 16,28 \text{ mm} \\ \emptyset \cdot M_n &= \phi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \cdot 402123,85 \text{ N} \left(252 \text{ mm} - \frac{16,28 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 78448692,96 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat, $\emptyset M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$

7.3.2.2 Perhitungan Tulangan Tumpuan Arah Y

$$\begin{aligned} M_u &= 75674270 \text{ Nmm} \\ M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{75674270 \text{ Nmm}}{0,8} = 94592837,5 \text{ Nmm} \\ R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{94592837,5}{1000 \cdot 236^2} = 1,69 \\ \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\ \rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312 \\ \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234 \\ \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,19 \cdot 1,77}{400}} \right) = 0,0044 \end{aligned}$$

$\rho_{maks} > \rho > \rho_{min}$

Maka digunakan $\rho = 0,0044$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0044 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 236 \text{ mm} = 1039,09 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan diameter D16 – 150

$$A_{st} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b/s$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot \frac{1000}{150} = 1340,41 \text{ mm}^2$$

Syarat, **$A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$**

Cek kemampuan nominal :

$$T = A_{st} \cdot f_y$$

$$= 1340,41 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 536165,14 \text{ N}$$

$$a = \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{536165,14 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 1000} = 21,71 \text{ mm}$$

$$\phi \cdot M_n = \phi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,8 \cdot 536165,14 \text{ N} \left(236 \text{ mm} - \frac{21,71 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$= 96571131,35 \text{ Nmm}$$

Syarat, **$\phi M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$**

7.3.2.3 Perhitungan Tulangan Lapangan Arah X

$$M_u = 81721670 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{81721670 \text{ Nmm}}{0,8} = 102152087,5 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{102152087,5}{1000 \cdot 252^2} = 1,60$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 1,14}{400}} \right) = 0,0041$$

$\rho_{maks} > \rho > \rho_{min}$

Maka digunakan $\rho = 0,0041$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 252 \text{ mm} = 1048,76 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan diameter D16 – 150

$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b/s \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot \frac{1000}{150} = 1340,41 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat, **$A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$**

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned} T &= A_{st} \cdot f_y \\ &= 1340,41 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 536165,14 \text{ N} \end{aligned}$$

$$a = \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{536165,14 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 1000} = 21,71 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \emptyset \cdot M_n &= \varphi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \cdot 536165,14 \text{ N} \left(236 \text{ mm} - \frac{21,71 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 96571131,35 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat, **$\emptyset M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$**

7.3.2.4 Perhitungan Tulangan Lapangan Arah Y

$$M_u = 39100000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\varphi} = \frac{39100000 \text{ Nmm}}{0,8} = 48875000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{48875000}{1000 \cdot 236^2} = 0,87$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312 \end{aligned}$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 1,346}{400}} \right) = 0,0022\end{aligned}$$

$\rho_{maks} > \rho < \rho_{min}$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$\begin{aligned}As &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 236 \text{ mm} = 826 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Direncanakan tulangan diameter D16 – 200

$$\begin{aligned}Ast &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b/s \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot \frac{1000}{200} = 1005,3 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat, **$Ast > As \rightarrow OK$**

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned}T &= Ast \cdot fy \\ &= 1005,3 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 402123,85 \text{ N} \\ a &= \frac{T}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{402123,85 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 1000} = 16,28 \text{ mm} \\ \emptyset \cdot Mn &= \phi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \cdot 402123,85 \text{ N} \left(236 \text{ mm} - \frac{16,28 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 73301507,56 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Syarat, **$\emptyset Mn > Mu \rightarrow OK$**

7.3.2.5 Kontrol Lendutan Platform

Kontrol lendutan pada plat dianalisa dengan memperhitungkan lendutan sesaat dan lendutan jangka panjang. Lendutan sesaat akibat beban layan luar yang terjadi harus dihitung dengan menggunakan nilai E_c yang ditentukan dan I_{ef} yang berupa nilai momen efektif dari kedua luas unsur.

Disamping lendutan sesaat, beton bertulang juga akan mengalami lendutan berkala yang terjadi berangsur – angsur dalam jangka waktu yang lama. Hal itu disebabkan

karena bertambahnya regangan dengan sendirinya yang mengakibatkan perubahan distribusi tegangan pada beton dan tulangan baja, sehingga lendutan bertambah untuk beban yang bersifat tetap. Lendutan ini disebut lendutan jangka panjang. Adapun perhitungan lendutan baik lendutan sesaat dan jangka panjang adalah sebagai berikut :

- Lendutan sesaat

Lendutan sesaat dihitung dengan memasukkan nilai modulus elastisitas beton E_c dalam program SAP 2000 SHELL. Adapun nilai E_c dihitung sebagai berikut :

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{37,35}$$

$$E_c = 28723,88 \text{ MPa}$$

Berdasarkan analisa yang dilakukan, maka didapat nilai lendutan sesaat (Δ_{st}) maksimum yang terjadi adalah 0,8 cm.

- Lendutan jangka panjang

Lendutan jangka panjang dihitung dengan mengkalikan nilai lendutan sesaat dengan nilai pengali K_{cs} , yaitu :

$$K_{cs} = 2 - 1,2 (A_{sc}/A_{st})$$

$$= 2 - 1,2 (1)$$

$$= 0,8 \geq 0,8$$

$$\Delta_{lt} = \Delta_{st} \times K_{cs}$$

$$= 0,8 \text{ cm} \cdot 0,8$$

$$= 0,64 \text{ cm} = 0,0064 \text{ m}$$

Lendutan-lendutan yang terjadi harus memenuhi syarat sebagai berikut :

$$0 < \text{lendutan terjadi} < L_n/300$$

$$0 < 0,0064 \text{ m} < 7/300 = 0,023 \text{ m} \rightarrow \mathbf{OK}$$

7.3.3 Perencanaan Penulangan Balok Platform

Balok pada platform terdiri dari balok melintang (cap beam), balok kantilever kanan dan kiri, serta balok memanjang. Berikut ini akan diuraikan cara perhitungan penulangan balok (balok memanjang platform 80/100 cm), baik tulangan lentur, torsi maupun geser. Untuk perhitungan tulangan balok lainnya disajikan dalam lampiran.

Berikut adalah output gaya-gaya dalam yang bekerja pada balok memanjang platform 80/100 cm.

Tabel 7. 11 Rekapitulasi momen pada balok platform

| Gaya | | ton.m | Nominal (Nmm) |
|------|---------|------------|---------------|
| Mtum | positif | 49.6963153 | 496963153 |
| | negatif | 27.3466211 | 273466211 |
| Mlap | positif | 24.0371217 | 240371217.1 |
| | negatif | 15.5136919 | 155136919 |
| Vu | | 38.2 | 382000 |
| Tu | | 7.24 | 72400000 |

Data perencanaan :

Lebar balok $b = 800 \text{ mm}$
 Tinggi balok $h = 1000 \text{ mm}$
 Tebal selimut beton $p = 60 \text{ mm}$
 Diameter tulangan lentur $= 25 \text{ mm}$
 Diameter tulangan geser $= 13 \text{ mm}$
 Diameter tulangan torsi $= 16 \text{ mm}$
 $\phi_{\text{lentur}} = 0,8$
 $\phi_{\text{geser}} = 0,75$
 $\phi_{\text{torsi}} = 0,75$
 $m = 16,199$
 Tebal efektif

$$d = h - p - D_{\text{lentur}} - \frac{D_{\text{geser}}}{2}$$

$$= 889,5 \text{ mm}$$

Mutu beton :

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,85 - (0,007(29,05 \text{ MPa} - 28 \text{ MPa})) \\ = 0,8425$$

Mutu baja :

$$F_y \text{ lentur (f}_y\text{)} = 400 \text{ MPa}$$

$$F_y \text{ puntir (f}_y\text{)} = 240 \text{ MPa}$$

$$F_y \text{ geser (f}_y\text{)} = 240 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

7.3.3.1 Perhitungan Tulangan Lentur Tumpuan Tarik

$$M_u = 496963153 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{496963153 \text{ Nmm}}{0,8} = 621203941 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{621203941}{800 \cdot 889,5^2} = 0,98$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ = 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ = \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 1,346}{400}} \right) = 0,0025$$

$\rho_{\max} > \rho < \rho_{\min}$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \\ = 0,0035 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 889,5 \text{ mm} = 2490,6 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan diameter D25 – 6

$$A_{st} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b \cdot n \\ = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 800 \cdot 6 = 2945,24 \text{ mm}^2$$

Syarat, **$A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$**

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned}
 T &= Ast \cdot fy \\
 &= 2945,24 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 1178097,25 \text{ N} \\
 a &= \frac{T}{0,85 \cdot f'c' \cdot b} = \frac{1178097,25 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 800} = 59,63 \text{ mm} \\
 \emptyset \cdot Mn &= \phi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 0,8 \cdot 1178097,25 \text{ N} \left(889,5 \text{ mm} - \frac{59,63 \text{ mm}}{2}\right) \\
 &= 810230059 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat, $\emptyset Mn > Mu \rightarrow \text{OK}$

7.3.3.2 Perhitungan Tulangan Lentur Tumpuan Tekan

$$\begin{aligned}
 Mu &= 273466211 \text{ Nmm} \\
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} = \frac{273466211 \text{ Nmm}}{0,8} = 341832764 \text{ Nmm} \\
 Rn &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{341832764}{800 \cdot 889,5^2} = 0,54 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 \rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f'c'}{fy} \cdot \left(\frac{600}{600 + fy}\right) \\
 &= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400}\right) = 0,0312 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}}\right) \\
 &= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 1,346}{400}}\right) = 0,0013
 \end{aligned}$$

$\rho_{\max} > \rho < \rho_{\min}$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$\begin{aligned}
 As &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0035 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 889,5 \text{ mm} = 2490,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan diameter D25 – 6

$$\begin{aligned}
 Ast &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b \cdot n \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 800 \cdot 6 = 2945,24 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat, $Ast > As \rightarrow \text{OK}$

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned}
 T &= Ast \cdot fy \\
 &= 2945,24 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 1178097,25 \text{ N} \\
 a &= \frac{T}{0,85 \cdot f'c' \cdot b} = \frac{1178097,25 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 800} = 59,63 \text{ mm} \\
 \emptyset \cdot Mn &= \phi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \cdot 1178097,25 \text{ N} \left(889,5 \text{ mm} - \frac{59,63 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 810230059 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat, $\emptyset Mn > Mu \rightarrow \text{OK}$

7.3.3.3 Perhitungan Tulangan Lentur Lapangan Tarik

$$\begin{aligned}
 Mu &= 240371217 \text{ Nmm} \\
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} = \frac{240371217 \text{ Nmm}}{0,8} = 300464021 \text{ Nmm} \\
 Rn &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{300464021}{800 \cdot 889,5^2} = 0,47 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 \rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f'c'}{fy} \cdot \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \\
 &= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,19 \cdot 1,346}{400}} \right) = 0,0011
 \end{aligned}$$

$\rho_{\max} > \rho < \rho_{\min}$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$\begin{aligned}
 As &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0035 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 889,5 \text{ mm} = 2490,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan diameter D25 – 6

$$\begin{aligned}
 Ast &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b \cdot n \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 800 \cdot 6 = 2945,24 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat, $Ast > As \rightarrow \text{OK}$

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned}
 T &= Ast \cdot fy \\
 &= 2945,24 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 1178097,25 \text{ N} \\
 a &= \frac{T}{0,85 \cdot f'c' \cdot b} = \frac{1178097,25 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 800} = 59,63 \text{ mm} \\
 \emptyset \cdot Mn &= \phi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \cdot 1178097,25 \text{ N} \left(889,5 \text{ mm} - \frac{59,63 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 810230059 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat, $\emptyset Mn > Mu \rightarrow \text{OK}$

7.3.3.4 Perhitungan Tulangan Lentur Lapangan Tekan

$$\begin{aligned}
 Mu &= 155136919 \text{ Nmm} \\
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} = \frac{155136919 \text{ Nmm}}{0,8} = 193921149 \text{ Nmm} \\
 Rn &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{193921149}{800 \cdot 889,5^2} = 0,306 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 \rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f'c'}{fy} \cdot \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \\
 &= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 1,346}{400}} \right) = 0,0007
 \end{aligned}$$

$\rho_{\max} > \rho < \rho_{\min}$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$\begin{aligned}
 As &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0035 \cdot 800 \text{ mm} \cdot 889,5 \text{ mm} = 2490,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan diameter D25 – 6

$$\begin{aligned}
 Ast &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b \cdot n \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 800 \cdot 6 = 2945,24 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat, $Ast > As \rightarrow \text{OK}$

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned}
 T &= A_{st} \cdot f_y \\
 &= 2945,24 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 1178097,25 \text{ N} \\
 a &= \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1178097,25 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 800} = 59,63 \text{ mm} \\
 \emptyset \cdot M_n &= \phi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \cdot 1178097,25 \text{ N} \left(889,5 \text{ mm} - \frac{59,63 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 810230059 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat, $\emptyset M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$

7.3.3.5 Perhitungan Tulangan Torsi

Berikut adalah rincian perhitungan tulangan torsi balok 80/100 cm. perhitungan ini juga menentukan tulangan yang akan digunakan.

$$\begin{aligned}
 T_u &= 72400000 \text{ Nmm} \\
 \theta &= 45^\circ \\
 T_n &= T_u / \phi \\
 &= 72400000 / 0,75 \\
 &= 96533333,3 \text{ N.mm} \\
 V_u &= 382000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Periksa kebutuhan tulangan torsi berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.5

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= b \cdot h \\
 &= 800 \cdot 1000 \\
 &= 800000 \text{ mm}^2 \\
 P_{cp} &= 2 (b + h) \\
 &= 2 (800 + 1000) = 3600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari beberapa kondisi dibawah ini.

$$\begin{aligned}
 T_u \text{ min} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{29,05} \left(\frac{800000^2}{3600} \right) \\
 &= 59647177,45 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimal T_u dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned} T_u \text{ max} &= \phi 0,33 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{29,05} \left(\frac{800000^2}{3600} \right) \\ &= 237151428,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek pengaruh momen puntir

$T_u < T_u \text{ min}$, maka tulangan puntir diabaikan

$T_u > T_u \text{ min}$, maka memerlukan tulangan puntir

Masuk pada kondisi :

$$T_u > T_u \text{ min}$$

$72400000 > 59647177,45$ (maka memerlukan tulangan puntir)

Periksa kapasitas penampang untuk menahan torsi berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.5. Jika diasumsikan diameter sengkang adalah 13 mm, maka:

$$\begin{aligned} b_h &= b - 2p - D_{geser} \\ &= 800 - 2 \cdot 60 - 13 = 667 \text{ mm} \\ h_h &= h - 2p - D_{geser} \\ &= 1000 - 2 \cdot 60 - 13 = 867 \text{ mm} \\ A_{oh} &= b_h \cdot h_h \\ &= 667 \text{ mm} \cdot 867 \text{ mm} = 578289 \text{ mm}^2 \\ A_o &= 0,85 \cdot A_{oh} \\ &= 0,85 \cdot 578289 \text{ mm}^2 = 491545,65 \text{ mm}^2 \\ P_h &= 2 (b_h + h_h) \\ &= 2 (667 \text{ mm} + 867 \text{ mm}) = 3068 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol kemampuan dimensi penampang :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \cdot h} \right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot P_h}{1,7 \cdot A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b \cdot h} + \frac{2\sqrt{f'c'}}{3} \right)$$

dimana:

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b \times d$$

$$= 639230,89 \text{ Nmm}$$

Sehingga kontrol kemampuan dimensi penampang:

$$0,0000477 < 3,329 \text{ (OK)}$$

Maka penampang balok cukup untuk menahan torsi yang terjadi.

Perhitungan kebutuhan tulangan :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \emptyset}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{96533333,3 \text{ Nmm}}{2 \times 491545,65 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Nmm} \times \cot 45}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0,24 \text{ mm}$$

Kebutuhan tulangan torsi arah longitudinal :

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times P_{oh} \times \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \times \cot^2 \emptyset$$

$$A_l = 0,24 \text{ mm} \times 3068 \text{ mm} \times \left(\frac{240 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \right) \times \cot^2 45$$

$$A_l = 753,14 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil nilai dengan ketentuan :

$$\frac{A_t}{s} \geq \frac{0,175 \times B_w}{F_{yt}}$$

$$0,24 \text{ mm} \geq \frac{0,175 \times 800 \text{ mm}}{240}$$

$$0,24 \text{ mm} \geq 0,3645 \text{ mm}$$

Maka nilai A_t/s diambil = 0,24 mm

Cek nilai A_l min dengan persamaan :

$$\left(\frac{0,42 \times \sqrt{f'c'} \times A_{cp}}{F_y} - \frac{A_t}{s} \right) \times P_{oh} \times \frac{F_{yt}}{F_y}$$

Maka nilai A_{\min} :

$$\left(\frac{0,42 \times \sqrt{29,05 \text{ Mpa} \times 800000 \text{ mm}^2}}{400 \text{ Mpa}} - 0,3645 \text{ mm} \right) \times 3068 \text{ mm} \times \frac{240 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}}$$

$$A_{\min} = 4075,54 \text{ mm}^2$$

Kontrol penggunaan A_I dengan 2 kondisi yakni

$$A_{\text{perlu}} \leq A_{\min} \text{ Maka menggunakan } A_{\min}$$

$$A_{\text{perlu}} \geq A_{\min} \text{ Maka menggunakan } A_{\text{perlu}}$$

Maka ;

$$A_{\text{perlu}} \leq A_{\min}$$

$$753,14 \text{ mm}^2 < 4075,54 \text{ mm}^2$$

Sehingga yang digunakan nilai $A_{\min} = 4075,54 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok sehingga:

$$\frac{A_I}{4} = \frac{4075,54 \text{ mm}^2}{4} = 1018,88 \text{ mm}^2$$

Pengecekan ulang tulangan lentur terhadap torsi

Tulangan Lentur Bawah :

$$A_s \text{ baru} = A_s \text{ lentur} + A_I/4$$

$$= 2490,6 + 1018,88 = 3509,48 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ lama} = (\text{untuk tulangan lentur 6-D25})$$

$$= 2945,24 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ baru} > A_s \text{ lama}$$

Kondisi tulangan lentur 6-D25 kurang mencukupi untuk torsi yang terjadi, sehingga di lakukan perancangan ulang dengan tulangan : 8-D25

$$A_{st} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot 8 = 3926,99 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} > A_s \text{ baru} \rightarrow \text{OK}$$

Tulangan Lentur Atas :

$$\begin{aligned} A_s \text{ baru} &= A_s \text{ lentur} + A_1/4 \\ &= 2490,6 + 1018,88 = 3509,48 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ lama} &= (\text{untuk tulangan lentur 6-D25}) \\ &= 2945,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_s \text{ baru} > A_s \text{ lama}$

Kondisi tulangan lentur 6-D25 kurang mencukupi untuk torsi yang terjadi, sehingga di lakukan perancangan ulang dengan tulangan : 8-D25

$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot 8 = 3926,99 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_{st} > A_s \text{ baru} \rightarrow \text{OK}$

Perhitungan Tulangan Samping Akibat Torsi

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= A_1/4 \\ &= 1018,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan : 6-D16

$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 6 = 1206,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_{st} > A_s \text{ perlu} \rightarrow \text{OK}$

7.3.3.6 Perhitungan Tulangan Geser

Untuk perhitungan penulangan geser, nilai V_u tumpuan diambil dari SAP2000 dan berikut merupakan gaya geser yang bekerja pada balok memanjang platform 50/70 cm.

$$V_u = 382000 \text{ N}$$

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.1 V_c untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja dapat dihitung sebagai berikut dengan $\lambda = 1$ untuk beton nominal normal berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 8.6.1

$$\begin{aligned} - V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times b \times d = 639230,89 \text{ N} \\ - \phi \cdot V_c &= 0,75 \cdot 639230,89 \text{ Nmm} = 479432,17 \text{ N} \end{aligned}$$

- $0,5 \cdot \varphi \cdot V_c = 0,5 \cdot 479432,17 \text{ Nmm} = 239711,59 \text{ N}$
 $V_{s_{\min}} = \frac{b \cdot d}{3} = \frac{800 \text{ mm} \cdot 889,5 \text{ mm}}{3} = 237200 \text{ mm}$
- $\varphi (V_c + V_{s_{\min}}) = 0,75 (639230,89 + 237200)$
 $= 657323,17 \text{ N}$
 $V_{s_{\max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$
 $= \frac{1}{3} \times \sqrt{29,05 \text{ N/mm}^2} \times 800 \text{ mm} \times 889,5 \text{ mm}$
 $= 1278461,79 \text{ N}$
- $\varphi (V_c + V_{s_{\max}}) = 0,75 (639230,89 + 1278461,79)$
 $= 1438269,5 \text{ N}$
 $2V_{s_{\max}} = 2 \times 1278461,79 \text{ MPa} = 2556923,58 \text{ N}$
- $\varphi (V_c + 2V_{s_{\max}}) = 0,75 \cdot (639230,89 + 1119282)$
 $= 2397115,85 \text{ N}$

Cek kondisi :

6. Kondisi Geser 1 \rightarrow Tidak memerlukan tulangan geser
 $V_u \leq 0,5 \cdot \varphi \cdot V_c$
 $382000 \text{ N} > 239711,59 \text{ N}$ **(Tidak memenuhi)**
7. Kondisi Geser 2 \rightarrow memerlukan tulangan geser minimum
 $0,5 \cdot \varphi \cdot V_c \leq V_u \leq \varphi \cdot V_c$
 $239711,59 \text{ N} \leq 382000 \text{ N} < 479432,17 \text{ N}$
(Memenuhi)
8. Kondisi Geser 3 \rightarrow memerlukan tulangan geser minimum
 $\varphi \cdot V_c \leq V_u \leq \varphi (V_c + V_{s_{\min}})$
9. Kondisi Geser 4 \rightarrow memerlukan tulangan geser
 $\varphi (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \varphi (V_c + V_{s_{\max}})$
10. Kondisi Geser 5 \rightarrow memerlukan tulangan geser
 $\varphi (V_c + V_{s_{\max}}) \leq V_u \leq \varphi (V_c + 2V_{s_{\max}})$

Kondisi geser 2 memenuhi syarat, maka dipasang geser minimum.

Direncanakan tulangan geser dengan jarak **200 mm**

$$- Av = \frac{b \cdot s}{3 \cdot f_y} = \frac{800 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm}}{3 \cdot 240 \text{ MPa}} = 222,22 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan geser **2 kaki D13 - 200 mm**

$$- Av_{pakai} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n \text{ kaki}$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 2 = 265,464 \text{ mm}^2$$

$$- V_s = \frac{Av_{pakai} \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{265,464 \text{ mm}^2 \cdot 240 \text{ MPa} \cdot 889,5 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} = 283356,89 \text{ N}$$

Cek,

$$Vu \leq \phi(Vc + Vs)$$

$$382000 \text{ N} \leq 0,75(639230,89 \text{ N} + 283356,89 \text{ N})$$

$$382000 \text{ N} \leq 691940,84 \text{ N} \text{ (OK)}$$

Tabel 7. 12 Rekapitulasi perhitungan balok memanjang dan melintang pada platform

| Tipe Balok | Dimensi (mm) | | Tul. tumpuan | | Tul lapangan | | Tulangan geser | Tulangan torsi |
|------------|--------------|------|--------------|--------|--------------|--------|--------------------|----------------|
| | b | h | tarik | tekan | tarik | tekan | | |
| Memanjang | 800 | 1000 | 8 D25 | 8 D25 | 8 D25 | 8 D25 | 2 kaki D13 - 200mm | 6 D16 |
| Melintang | 600 | 800 | 10 D25 | 10 D25 | 10 D25 | 10 D25 | 2 kaki D13 - 200mm | 6 D13 |

7.3.4 Perhitungan Kolom Virtual

Kebutuhan penulangan kolom virtual platform diambil dari peraturan SNI.

7.3.4.1 Penulangan kolom virtual

Kebutuhan kolom virtual platform diambil dari hasil analisa SAP2000. Berdasarkan hasil output kebutuhan penulangan kolom virtual diketahui kebutuhan tulangan kolom virtual adalah sebagai berikut:

Kolom virtual 80x80:

- Cek ratio tulangan $\rho = 1\% - 6\%$
- $A_{\text{penampang}} = 800 \text{ mm} \cdot 800 \text{ mm} = 640000 \text{ mm}^2$
- Maka dipasang **12 D29**, $A_s = 7926,23 \text{ mm}^2$
- $\rho = 7926,23 \text{ mm}^2 / 640000 \text{ mm}^2 = 0,012 = 1,2\% \text{ (OK)}$

7.3.4.2 Panjang penyaluran kolom virtual

Panjang penyaluran tulangan kolom virtual dihitung sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 12.2.5 yaitu diambil yang terbesar :

- panjang minimum adalah 200 mm
- $L_{dc} = db \frac{0,24 \cdot f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} = 25 \text{ mm} \frac{0,24 \cdot 400}{\lambda \sqrt{29,05}} = 445,28 \text{ mm}$
- $L_{dc} = 0,043 \cdot f_y \cdot db = 0,043 \cdot 400 \text{ MPa} \cdot 25 \text{ mm}$
 $= 430 \text{ mm}$

Maka dipakai panjang penyaluran 445,28 mm ~ 450 mm

7.3.5 Perencanaan Pile Cap platform

Data perencanaan :

| | |
|------------------|-------------------------|
| Panjang pile cap | $b_x = 1300 \text{ mm}$ |
| Lebar pile cap | $b_y = 1300 \text{ mm}$ |

Tinggi pile cap $h = 1500 \text{ mm}$

Tebal selimut beton $p = 100 \text{ mm}$

Diameter tulangan lentur $= 25 \text{ mm}$

Tebal efektif :

$$dx = h - p - \frac{D}{2} = 1387,5 \text{ mm}$$

$$dy = h - p - \frac{D}{2} - D = 1362,5 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 29,05} = 16,199$$

Mutu beton :

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,85 - (0,007(29,05 \text{ MPa} - 28 \text{ MPa})) = 0,8425$$

Mutu baja :

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

Dari analisa struktur yang telah dilaksanakan dengan menggunakan program SAP 2000, di dapatkan momen seperti yang disajikan dalam tabel :

Tabel 7. 13 Rekapitulasi momen pada pile cap platform

| Momen | ton.m | Nominal (Nmm) |
|-------|---------|---------------|
| M11 | 0.07682 | 768200 |
| M22 | 0.07099 | 709900 |

7.3.5.1 Perhitungan Tulangan Arah X

$$Mu = 768200 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{768200 \text{ Nmm}}{0,8} = 960250 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{960250}{1300 \cdot 1387,5^2} = 0,00038$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312 \\
 \rho_{maks} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 0,00395}{400}} \right) \\
 &= 9,5 \times 10^{-7}
 \end{aligned}$$

$\rho_{maks} > \rho < \rho_{min}$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \cdot 1300 \text{ mm} \cdot 1387,5 \text{ mm} = 6313,125 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan diameter D25 – 100

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b/s \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot \frac{1300}{100} = 6381,36 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat, **$A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$**

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned}
 T &= A_{st} \cdot f_y \\
 &= 6381,36 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 2552544,03 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$a = \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{2552544,03 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 1300} = 79,51 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \phi \cdot M_n &= \phi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \cdot 2552544,03 \text{ N} \left(1387,5 \text{ mm} - \frac{79,51 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 2752134712 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat, **$\phi M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$**

7.3.5.2 Perhitungan Tulangan Arah Y

$$M_u = 709900 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{709900 \text{ Nmm}}{0,8} = 887375 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{3443393,37}{1300 \cdot 1362,5^2} = 0,00036 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 \rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 0,0014}{400}} \right) \\
 &= 9,19 \times 10^{-7}
 \end{aligned}$$

$\rho_{\max} > \rho < \rho_{\min}$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \cdot 1300 \text{ mm} \cdot 1362,5 \text{ mm} = 6199,37 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan diameter D25 – 100

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b/s \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot \frac{1300}{100} = 6381,36 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat, **$A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$**

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned}
 T &= A_{st} \cdot f_y \\
 &= 6381,36 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 2552544,03 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$a = \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{2552544,03 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 1300} = 79,51 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \phi \cdot M_n &= \phi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \cdot 2552544,03 \text{ N} \left(1362,5 \text{ mm} - \frac{79,51 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 2752134712 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat, **$\phi M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$**

7.3.5.3 Kontrol geser pons

$P = 1,3 \text{ ton}$ (output SAP2000)

Diameter tiang pancang = 914 mm

Tebal tiang pancang = 19 mm

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(a+b+(2h))}{6} 0,8 \cdot h \cdot \sqrt{f_c'} \\
 &= \frac{(914 + 914 + (2 \cdot 1500))}{6} 0,8 \cdot 914 \cdot \sqrt{29,05} \\
 &= 5204396 \text{ N} = 520,4396 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$- \quad 2 \cdot P = 2 \cdot 1,3 \text{ ton} = 2,6 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat,} \quad 2 \cdot P &\leq \frac{(a+b+(2h))}{6} 0,8 \cdot h \cdot \sqrt{f_c'} \\
 2,6 \text{ ton} &\leq 520,4396 \text{ ton (OK)}
 \end{aligned}$$

Pile cap kuat menahan gaya geser.

7.3.6 Perhitungan panjang penyaluran ke struktur atas pada platform

Data perencanaan :

| | |
|---------------------|-------------|
| Lebar pile cap | = 1300 mm |
| Tinggi pile cap (h) | = 1500 mm |
| Tebal selimut (p) | = 100 mm |
| Tebal efektif (d) | = 1387,5 mm |
| D tiang | = 914 mm |
| Tebal tiang | = 19 mm |
| D dalam tiang | = 876 mm |
| ϕ | = 0,7 |
| f_c' | = 29,05 Mpa |
| f_y | = 400 Mpa |
| D. tul pile cap | = 25 mm |
| D. tul geser | = 13 mm |
| σ_e | = 460 MPa |
| tebal las | = 5 mm |

$$P_{\text{kerja}} = 1377274 \text{ N (out put SAP 2000)}$$

7.3.6.1 Kontrol kekuatan beton dalam tiang

$$P_{\text{beton dalam tiang}} \geq P_{\text{kerja}}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{beton dalam tiang}} &= A_{\text{beton}} \cdot 0,85 \cdot \phi \cdot f_c' \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 914^2 \cdot 0,85 \cdot 0,7 \cdot 29,05 \text{ MPa} \\ &= 11340844 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_{\text{beton dalam tiang}} > P_{\text{kerja}} \rightarrow \text{OK}$$

7.3.6.2 Kontrol retak pile cap

$$\begin{aligned} V_c &= 1/6 \cdot f_c' \cdot b \cdot d \\ &= 1/6 \cdot 29,05 \cdot 1300 \cdot 876 \\ &= 5513690 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } P_{\text{kerja}} &\leq \phi \cdot 2V_c \\ 1377274 \text{ N} &< 0,7 \cdot 2 \cdot 5513690 \text{ N} \\ 1377274 \text{ N} &< 7719166 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

7.3.6.3 Kontrol kekuatan las

Direncanakan menggunakan las E 60 XX dengan tegangan izin tarik las (σ_e) = 460 MPa. Ketebalan las rencana adalah 5 mm. Maka kekuatan las dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kekuatan las} &= \text{keliling las} \times \text{tebal las} \times \sigma_e \\ &= \pi \cdot 914 \text{ mm} \cdot 5 \cdot 460 \text{ MPa} \\ &= 6604256,07 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} \text{Kekuatan las} &> P_{\text{kerja}} \\ 6604256,07 \text{ N} &> 1377274 \text{ N} \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

7.3.6.4 Jarak shear ring

$$\begin{aligned} s \cdot \sqrt{f_c'} \cdot 1/6 &< 0,85 \cdot f_c' \cdot D \\ s &< \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot D}{\sqrt{f_c'} \cdot 1/6} \\ s &< \frac{0,85 \cdot 29,05 \text{ MPa} \cdot 25}{\sqrt{29,05} \cdot 1/6} \end{aligned}$$

$$s < 687,2 \text{ mm}$$

Jarak maksimum shear ring adalah 200 mm, maka dipasang tulangan shear ring D13 – 200 mm.

7.3.6.5 Perhitungan tulangan dari tiang ke struktur atas

Perhitungan tulangan dari tiang ke struktur atas diambil nilai yang terbesar antara cara berikut :

- $A_{s\text{perlu}} \cdot f_{y\text{tulangan}} = P / \phi$
 $A_{s\text{perlu}} = P / (\phi \cdot f_{y\text{tulangan}})$
 $= 1377274 \text{ N} / (0,7 \cdot 400) = 4918,83 \text{ mm}^2$
- 1% luas penampang beton:
 $A_{s\text{perlu}} = 0,01 \cdot L_{\text{beton dalam tiang}}$
 $= 0,01 \cdot 0,25 \pi \cdot 876^2 = 6026,95 \text{ mm}^2$

Maka diambil $A_{s\text{perlu}}$ terbesar yaitu $6026,95 \text{ mm}^2$

Di gunakan tulangan **10 – D29**

$$A_{st} = \frac{1}{4} \pi 25^2 \cdot 10 = 6605,19 \text{ mm}^2 \quad A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$$

Nilai yang diperhitungkan untuk panjang penyaluran dalam tekan yaitu dihitung sesuai dengan persamaan berikut :

$$S = db \cdot \frac{f_y}{4\sqrt{f'c}}$$

$$= 25 \text{ mm} \cdot \frac{400 \text{ MPa}}{4\sqrt{29,05 \text{ MPa}}} = 463,83 \text{ mm}$$

Dan tidak boleh kurang dari :

$$S_{\min} = 0,5 \times \text{tinggi pile cap}$$

$$= 0,5 \times 1500 \text{ mm} = 750 \text{ mm}$$

Maka dipakai panjang penyaluran terbesar yaitu 750 mm, dipasang panjang penyaluran tekan = 800 mm

Panjang penyaluran dasar tulangan dalam kondisi tarik dihitung menurut **SNI – 2847 2013 pasal 14.2** dengan metode sebagai berikut :

$$Ldh = \frac{3.fy.\alpha.\beta.\lambda}{5.\sqrt{fc'}} db$$

Dengan :

$$\alpha = 1$$

$$\beta = 1$$

$$\lambda = 1$$

Sehingga :

$$Ldh = \frac{3.400.1.1.1}{5.\sqrt{29,05}}$$

$$= 1113,21 \text{ mm}$$

Sehingga dipakai panjang penyaluran dasar tulangan dalam kondisi tarik adalah 1200 mm

7.3.6.6 Perhitungan base plate

Base plate merupakan penahan beton segar saat proses pengisian beton tiang pancang. Base plate direncanakan dengan menggunakan plat baja dengan tebal 10 mm. Sedangkan untuk menahan base plate pada tiang pancang, digunakan tulangan pengait.

Berat yang harus dipikul oleh base plate adalah :

$$P = A_{\text{dalam tiang}} (tp \cdot BJ_{\text{baja}} + BJ_{\text{beton}} \cdot L)$$

$$= \frac{1}{4} \pi (0,876)^2 (0,01 \cdot 7850 + 2400 \cdot 1,2)$$

$$= 1919,58 \text{ kg}$$

Perhitungan pengait base plate :

$$A = P / \sigma$$

$$= (1919,58 \text{ kg}) / (1600 \text{ kg/cm}^2)$$

$$= 1,19 \text{ cm}^2 = 119,9 \text{ mm}^2$$

($\sigma = 1600 \text{ kg/cm}^2$ adalah tegangan izin pengait A307 dengan mutu normal.)

Direncanakan digunakan 4 pengait maka, As tiap pengait adalah :

$$As = 119,9 / 4 = 29,9 \text{ mm}^2$$

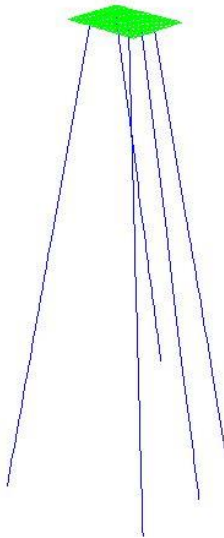
Maka dipakai pengait **4 D10** ($A_{st} = 78,5 \text{ mm}^2$)
Syarat, $A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$

7.4 Perencanaan Mooring dolphin

7.4.1 Analisa pembebanan pada mooring dolphin

Beban – beban yang terjadi pada platform telah dibahas pada subbab 4.7.2 dengan rincian :

- Beban UDL
- Beban air hujan
- Berat sendiri bollard
- Beban tarikan kapal
- Beban gempa



Gambar 7. 3 Permodelan struktur mooring dolphin dengan SAP2000

7.4.2 Perencanaan Pile Cap mooring dolphin

Data perencanaan :

Panjang pile cap $b_x = 6500 \text{ mm}$

Lebar pile cap $b_y = 6500 \text{ mm}$

Tinggi pile cap $h = 1500 \text{ mm}$

Tebal selimut beton $p = 100 \text{ mm}$

Diameter tulangan lentur $= 25 \text{ mm}$

Tebal efektif :

$$d_x = h - p - \frac{D}{2} = 1387,5 \text{ mm}$$

$$d_y = h - p - \frac{D}{2} - D = 1362,5 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 29,05} = 16,199$$

Mutu beton :

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,85 - (0,007(29,05 \text{ MPa} - 28 \text{ MPa})) = 0,8425$$

Mutu baja :

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

Dari analisa struktur yang telah dilaksanakan dengan menggunakan program SAP 2000, di dapatkan momen seperti yang disajikan dalam tabel :

Tabel 7. 14 Rekapitulasi momen pada pile cap mooring dolphin

| Momen | ton.m | Nominal (Nmm) |
|-------|--------|---------------|
| M11 | 3,6656 | 36656785 |
| M22 | 6,4277 | 64277361 |

7.4.2.1 Perhitungan Tulangan Arah X

$$M_u = 36656785 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{36656785 \text{ Nmm}}{0,8} = 45820981,25 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{45820981,25}{6500 \cdot 1387,5^2} = 0,00366$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 0,00366}{400}} \right) \\ &= 9,1 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

$\rho_{\max} > \rho < \rho_{\min}$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \cdot 6500 \text{ mm} \cdot 1387,5 \text{ mm} = 31565,62 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan diameter D25 – 100

$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b/s \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot \frac{6500}{100} = 31906,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat, **$A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$**

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned} T &= A_{st} \cdot f_y \\ &= 31906,8 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 12762720,1 \text{ N} \end{aligned}$$

$$a = \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{12762720,1 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 6500} = 79,51 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot M_n &= \phi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \cdot 12762720,1 \text{ N} \left(1387,5 \text{ mm} - \frac{79,51 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 13760673560 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat, **$\phi M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$**

7.4.2.2 Perhitungan Tulangan Arah Y

$$\begin{aligned}
 \mu_u &= 64277361 \text{ Nmm} \\
 \mu_n &= \frac{\mu_u}{\varphi} = \frac{64277361 \text{ Nmm}}{0,8} = 80346701,25 \text{ Nmm} \\
 R_n &= \frac{\mu_n}{b \cdot d^2} = \frac{80346701,25}{6500 \cdot 1362,5^2} = 0,0066 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 \rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,19 \cdot 0,0066}{400}} \right) \\
 &= 1,66 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

$\rho_{\max} > \rho < \rho_{\min}$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0035 \cdot 6500 \text{ mm} \cdot 1362,5 \text{ mm} = 30996,87 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan diameter D25 – 100

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b/s \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot \frac{6500}{100} = 31906,8 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat, **$A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$**

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned}
 T &= A_{st} \cdot f_y \\
 &= 31906,8 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 12762720,1 \text{ N} \\
 a &= \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{12762720,1 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 6500} = 79,51 \text{ mm} \\
 \emptyset \cdot M_n &= \varphi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \cdot 12762720,1 \text{ N} \left(1362,5 \text{ mm} - \frac{79,51 \text{ mm}}{2} \right)
 \end{aligned}$$

$$= 13505419157 \text{ Nmm}$$

Syarat, $\phi M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$

7.4.2.3 Kontrol geser pons

$P = 25,1 \text{ ton}$ (output SAP2000)

Diameter tiang pancang = 812,8 mm

Tebal tiang pancang = 16 mm

$$= \frac{(a+b+(2h)) 0,8 \cdot h \cdot \sqrt{f_c'}}{6}$$

$$= \frac{(812,8 + 812,8 + (2 \cdot 1500)) 0,8 \cdot 812,8 \cdot \sqrt{29,05}}{6}$$

$$= 4986217 \text{ N} = 498,6217 \text{ ton}$$

$$- 2 \cdot P = 2 \cdot 25,1 \text{ ton} = 50,2 \text{ ton}$$

Syarat, $2 \cdot P \leq \frac{(a+b+(2h)) 0,8 \cdot h \cdot \sqrt{f_c'}}{6}$

$$50,2 \text{ ton} \leq 498,6217 \text{ ton} \text{ (OK)}$$

Pile cap kuat menahan gaya geser.

7.4.3 Perhitungan panjang penyaluran ke struktur atas pada mooring dolphin

Data perencanaan :

| | |
|---------------------|-------------|
| Lebar pile cap | = 6500 mm |
| Tinggi pile cap (h) | = 1500 mm |
| Tebal selimut (p) | = 100 mm |
| Tebal efektif (d) | = 1387,5 mm |
| D tiang | = 812,8 mm |
| Tebal tiang | = 16 mm |
| D dalam tiang | = 780,8 mm |
| ϕ | = 0,7 |
| f_c' | = 29,05 Mpa |
| f_y | = 400 Mpa |
| D. tul pile cap | = 25 mm |
| D. tul geser | = 13 mm |
| σ_e | = 460 MPa |

$$\begin{aligned}\text{tebal las} &= 5 \text{ mm} \\ P_{\text{kerja}} &= 110775,5 \text{ N (out put SAP 2000)}\end{aligned}$$

7.4.3.1 Kontrol kekuatan beton dalam tiang

$$\begin{aligned}P_{\text{beton dalam tiang}} &\geq P_{\text{kerja}} \\ P_{\text{beton dalam tiang}} &= A_{\text{beton}} \cdot 0,85 \cdot \phi \cdot f_c' \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 812,8^2 \cdot 0,85 \cdot 0,7 \cdot 29,05 \text{ MPa} \\ &= 8968512 \text{ N}\end{aligned}$$

$$P_{\text{beton dalam tiang}} > P_{\text{kerja}} \rightarrow \text{OK}$$

7.4.3.2 Kontrol retak pile cap

$$\begin{aligned}V_c &= 1/6 \cdot f_c' \cdot b \cdot d \\ &= 1/6 \cdot 29,05 \cdot 6500 \cdot 780,8 \\ &= 24572427 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat : } P_{\text{kerja}} &\leq \phi \cdot 2V_c \\ 110775,5 \text{ N} &< 0,7 \cdot 2 \cdot 24572427 \text{ N} \\ 110775,5 \text{ N} &< 34401397 \text{ N} \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

7.4.3.3 Kontrol kekuatan las

Direncanakan menggunakan las E 60 XX dengan tegangan izin tarik las (σ_e) = 460 MPa. Ketebalan las rencana adalah 5 mm. Maka kekuatan las dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Kekuatan las} &= \text{keliling las} \times \text{tebal las} \times \sigma_e \\ &= \pi \cdot 812,8 \text{ mm} \cdot 5 \cdot 460 \text{ MPa} \\ &= 5873019 \text{ N}\end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}\text{Kekuatan las} &> P_{\text{kerja}} \\ 5873019 \text{ N} &> 110775,5 \text{ N} \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

7.4.3.4 Jarak shear ring

$$\begin{aligned}s \cdot \sqrt{f_c'} \cdot 1/6 &< 0,85 \cdot f_c' \cdot D \\ s &< \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot D}{\sqrt{f_c'} \cdot 1/6}\end{aligned}$$

$$s < \frac{0,85 \cdot 29,05 \text{ MPa} \cdot 25}{\sqrt{29,05} \cdot 1/6}$$

$$s < 687,2 \text{ mm}$$

Jarak maksimum shear ring adalah 200 mm, maka dipasang tulangan shear ring D13 – 200 mm.

7.4.3.5 Perhitungan tulangan dari tiang ke struktur atas

Perhitungan tulangan dari tiang ke struktur atas diambil nilai yang terbesar antara cara berikut :

$$\begin{aligned} - \quad A_{s\text{perlu}} \cdot f_{y\text{tulangan}} &= P / \phi \\ A_{s\text{perlu}} &= P / (\phi \cdot f_{y\text{tulangan}}) \\ &= 110775,5 \text{ N} / (0,7 \cdot 400) = 847,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

– 1% luas penampang beton:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= 0,01 \cdot L_{\text{beton dalam tiang}} \\ &= 0,01 \cdot 0,25 \pi \cdot 780,8^2 = 4788,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka diambil $A_{s\text{perlu}}$ terbesar yaitu 4788,16 mm²

Di gunakan tulangan **10 – D25**

$$A_{st} = \frac{1}{4} \pi 25^2 \cdot 10 = 4908,73 \text{ mm}^2 \quad A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$$

Nilai yang diperhitungkan untuk panjang penyaluran dalam tekan yaitu dihitung sesuai dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} S &= db \cdot \frac{f_y}{4\sqrt{f'c}} \\ &= 25 \text{ mm} \cdot \frac{400 \text{ MPa}}{4\sqrt{29,05 \text{ MPa}}} = 463,83 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dan tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned} S_{\min} &= 0,5 \times \text{tinggi pile cap} \\ &= 0,5 \times 1500 \text{ mm} = 750 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai panjang penyaluran terbesar yaitu 750 mm, dipasang panjang penyaluran tekan = 800 mm

Panjang penyaluran dasar tulangan dalam kondisi tarik dihitung menurut **SNI – 2847 2013 pasal 14.2** dengan metode sebagai berikut :

$$Ldh = \frac{3.f_y.\alpha.\beta.\lambda}{5.\sqrt{f_c'}} db$$

Dengan :

$$\alpha = 1$$

$$\beta = 1$$

$$\lambda = 1$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} Ldh &= \frac{3.400.1.1.1}{5.\sqrt{29,05}} \\ &= 1113,21 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga dipakai panjang penyaluran dasar tulangan dalam kondisi tarik adalah 1200 mm

7.4.3.6 Perhitungan base plate

Base plate merupakan penahan beton segar saat proses pengisian beton tiang pancang. Base plate direncanakan dengan menggunakan plat baja dengan tebal 10 mm. Sedangkan untuk menahan base plate pada tiang pancang, digunakan tulangan pengait.

Berat yang harus dipikul oleh base plate adalah :

$$\begin{aligned} P &= A_{\text{dalam tiang}} (t_p \cdot BJ_{\text{baja}} + BJ_{\text{beton}} \cdot L) \\ &= \frac{1}{4} \pi (0,7808)^2 (0,01 \cdot 7850 + 2400 \cdot 1,2) \\ &= 1754,86 \text{ kg} \end{aligned}$$

Perhitungan pengait base plate :

$$\begin{aligned} A &= P / \sigma \\ &= (1754,86 \text{ kg}) / (1600 \text{ kg/cm}^2) \\ &= 1,096 \text{ cm}^2 = 109,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

($\sigma = 1600 \text{ kg/cm}^2$ adalah tegangan izin pengait A307 dengan mutu normal.)

Direncanakan digunakan 4 pengait maka, A_s tiap pengait adalah :

$$A_s = 109,6 / 4 = 27,41 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai pengait **4 D10** ($A_{st} = 78,5 \text{ mm}^2$)

Syarat, $A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$

7.4.3 Pemasangan Bollard

Direncanakan :

Tebal plat bollard = 5 cm

A = 7 cm

B = 30,8 cm

h = $(A+B)/2 = 18,9 \text{ cm}$

I = 42,3 cm

F = 6,6 cm

a = $I - F = 35,7 \text{ cm}$

D_b = diameter baut = 3,6 cm

n_b = jumlah baut = 5 buah

σ_d = teg.dasar baja (BJ52) = 2400 kg/cm²

Sehingga tegangan izin baut yang disyaratkan menurut **pasal 8.2.1 PBI** adalah sebagai berikut :

- Tegangan geser izin :

$$\begin{aligned} \tau_{izin} &= 0,6 \cdot \sigma_d \\ &= 0,6 \cdot 2400 = 1440 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Tegangan tarik izin :

$$\begin{aligned} \sigma_{ta} &= 0,7 \cdot \sigma_d \\ &= 0,7 \cdot 2400 = 1680 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Tegangan tumpu izin :

$$\begin{aligned} \sigma_{tu} &= 1,5 \cdot \sigma_d \\ &= 1,5 \cdot 2400 = 3600 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan kekuatan baut

Gaya tarik terbesar yang terjadi (T) adalah sebesar 35 ton.
Sehingga :

$$\begin{aligned} T' &= T \cdot \sin \theta^\circ \\ &= 35 \text{ ton} \cdot \sin 50^\circ = 26,81 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T'' &= T \cdot \cos \theta^\circ \\ &= 35 \text{ ton} \cdot \cos 50^\circ = 22,49 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan baut akibat gaya horizontal :

Gaya T'' akan ditanggung oleh 5 baut

$$\begin{aligned} R_h &= T'' / n_b \\ &= 22,49 / 5 = 4,49 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Sehingga momen horizontal yang terjadi adalah :

$$\begin{aligned} M &= R_n \cdot h \\ &= 0,877 \cdot 18,9 = 0,877 \text{ Ton.m} \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan baut akibat gaya vertikal :

$$\begin{aligned} R_{v1} &= T' / n_b \\ &= 26,81 / 5 = 5,36 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{v2} &= M / 2a \\ &= 0,877 / (2 \cdot 35,7) = 1,23 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_v &= R_{v1} + R_{v2} \\ &= 5,36 + 1,23 = 6,59 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Pengecekan tegangan tarik izin :

$$\begin{aligned} \sigma_v &= R_v / A_b \\ &= 6,59 / \frac{1}{4} \pi 3,6^2 = 664,0062 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_v < \sigma_{ta} \rightarrow \text{OK}$$

Pengecekan tegangan geser izin :

$$\begin{aligned} \tau &= R_h / A_b \\ &= 4,64 / \frac{1}{4} \pi 3,6^2 = 455,9 \text{ kg/c m}^2 \end{aligned}$$

$$\tau < \tau_{izin} \rightarrow \text{OK}$$

Pengecekan tegangan tumpu izin :

$$\begin{aligned}\sigma_i &= \sqrt{\sigma_v^2 + 3\tau^2} \\ &= \sqrt{664^2 + 3 \cdot (455,9)^2} = 805,452 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

$\sigma_i < \sigma_{tu} \rightarrow \text{OK}$

Penjangkaran bollard

L.ank = panjang angker = 75 cm

D.ank = diameter angker = 3,6 cm

f_c' = mutu beton = 30 MPa

σ_i = mutu baja BJ52 = 324 MPa

$$\begin{aligned}\sigma'_b &= \text{teg.izin beton} = 0,48\sqrt{\sigma'_b} \\ &= 0,48\sqrt{300} \\ &= 8,3138 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Kekuatan tarik 1 baut adalah :

T_b = keliling baut . L.ank . σ'_b

$$= \pi(3,6) \cdot 75 \cdot 8,3138$$

$$= 7,05 \text{ Ton}$$

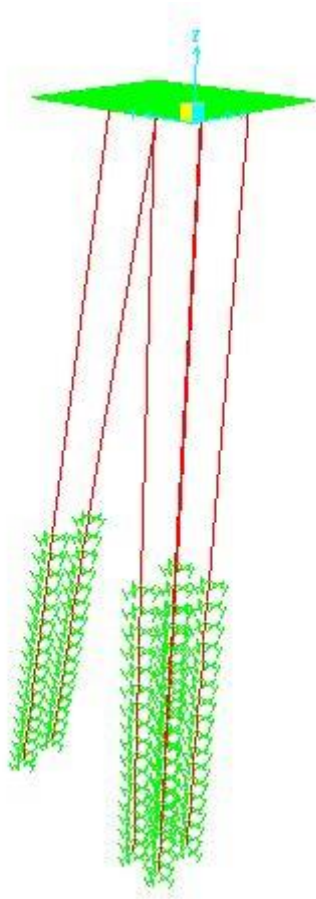
$T_b > R$ terjadi $\rightarrow \text{OK}$

7.5 Perencanaan Berthing dolphin

7.5.1 Analisa pembebanan pada mooring dolphin

Beban – beban yang terjadi pada platform telah dibahas pada subbab 4.7.2 dengan rincian :

- Beban UDL
- Beban air hujan
- Berat sendiri fender
- Beban gempa
- Beban reaksi fender
- Beban sendiri bollard



Gambar 7. 4 Permodelan struktur berthing dolphin dengan SAP2000

7.5.2 Perencanaan Pile Cap berthing dolphin

Data perencanaan :

| | |
|---------------------|-------------------------|
| Panjang pile cap | $b_x = 6750 \text{ mm}$ |
| Lebar yang ditinjau | $b_y = 1000 \text{ mm}$ |

Tinggi pile cap $h = 2000 \text{ mm}$

Tebal selimut beton $p = 100 \text{ mm}$

Diameter tulangan lentur $= 29 \text{ mm}$

Tebal efektif :

$$dx = h - p - \frac{D}{2} = 3384 \text{ mm}$$

$$dy = h - p - \frac{D}{2} - D = 3352 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 29,05} = 16,199$$

Mutu beton :

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,85 - (0,007(29,05 \text{ MPa} - 28 \text{ MPa})) = 0,8425$$

Mutu baja :

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

Dari analisa struktur yang telah dilaksanakan dengan menggunakan program SAP 2000, di dapatkan momen seperti yang disajikan dalam tabel :

Tabel 7. 15 Rekapitulasi momen pada pile cap berthing dolphin

| Momen | ton.m | Nominal (Nmm) |
|-------|----------|---------------|
| M11 | 10.81454 | 161307300 |
| M22 | 26.76671 | 248332400 |

7.5.2.1 Perhitungan Tulangan Arah X

$$Mu = 161307300 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{161307300 \text{ Nmm}}{0,8} = 201634125 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{201634125}{1000 \cdot 3384^2} = 0,0176$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312 \\
 \rho_{maks} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 0,00395}{400}} \right) \\
 &= 4,4 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

$\rho_{maks} > \rho < \rho_{min}$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 3384 \text{ mm} = 11844 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan diameter D32 – 150

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b/s \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 32^2 \cdot \frac{1000}{100} = 12451,65 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat, } A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$$

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned}
 T &= A_{st} \cdot f_y \\
 &= 12451,65 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 2144660,585 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$a = \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{2144660,585 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 1000} = 86,85 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \phi \cdot M_n &= \phi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,8 \cdot 2144660,585 \text{ N} \left(3384 \text{ mm} - \frac{86,85 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 5731515563 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat, } \phi M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$$

7.5.2.2 Perhitungan Tulangan Arah Y

$$M_u = 248332400 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{248332400 \text{ Nmm}}{0,8} = 310415500 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{310415500}{1000 \cdot 3352^2} = 0,027$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0312\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0312 = 0,0234$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 0,019}{400}} \right) \\ &= 6,9 \times 10^{-5}\end{aligned}$$

$\rho_{\max} > \rho < \rho_{\min}$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 3352 \text{ mm} = 11732 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan diameter D32 – 150

$$\begin{aligned}A_{st} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b/s \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 32^2 \cdot \frac{1000}{100} = 12451,65 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat, **$A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$**

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned}T &= A_{st} \cdot f_y \\ &= 12451,65 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 2144660,585 \text{ N} \\ a &= \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{2144660,585 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 5000} = 86,85 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi \cdot M_n &= \phi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \cdot 2144660,585 \text{ N} \left(3352 \text{ mm} - \frac{86,85 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 5676612252 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Syarat, **$\phi M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$**

7.5.2.3 Kontrol geser pons

P = 37,43 ton (output SAP2000)

Diameter tiang pancang = 812,8 mm

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal tiang pancang} &= 16 \text{ mm} \\
 - \frac{(a+b+(2h))^{0,8} \cdot h \cdot \sqrt{f_c'}}{6} \\
 &= \frac{(812,8 + 812,8 + (2 \cdot 3500))^{0,8} \cdot 812,8 \cdot \sqrt{29,05}}{6} \\
 &= 21695475 \text{ N} = 2169,5475 \text{ ton} \\
 - 2 \cdot P &= 2 \cdot 37,43 \text{ ton} = 74,86 \text{ ton} \\
 \text{Syarat, } 2 \cdot P &\leq \frac{(a+b+(2h))^{0,8} \cdot h \cdot \sqrt{f_c'}}{6} \\
 74,86 \text{ ton} &\leq 2169,5475 \text{ ton (OK)}
 \end{aligned}$$

Pile cap kuat menahan gaya geser.

7.5.3 Perencanaan balok fender

Data perencanaan :

$$\begin{aligned}
 B_w &= 4500 \text{ mm} \\
 H &= 1000 \text{ mm} \\
 D' &= 75 \text{ mm} \\
 \text{Diameter tulangan} &= 29 \text{ mm} \\
 D &= 1000 - 75 - 29/2 = 910,5 \text{ mm} \\
 F_c' &= 29,05 \text{ MPa} \\
 F_y &= 400 \text{ MPa} \\
 \text{Dimensi fender:} \\
 H (\text{defleksi } 45\%) &= 3000 \\
 B (\text{defleksi } 45\%) &= 1500 \\
 \text{Reaksi fender:} \\
 E &= 24 \text{ ton.m} \\
 R &= 90 \text{ ton.m}
 \end{aligned}$$

7.5.3.1 Penulangan geser balok

Penulangan geser pada balok fender dicari dengan menggunakan V_u yang didapat dari jumlah total berat sendiri plank fender ditambahkan berat fender. Berikut merupakan perhitungan geser balok

$$W1 = (1 \text{ m} \times 2 \text{ m}) \times 2,5 \text{ m} = 5 \text{ m}^3$$

$$W2 = (0,5m \times 3m) \times 2,5m = 3,75 \text{ m}^3$$

$$W3 = (0,5m \times 3m) \times 2,5m / 2 = 1,875 \text{ m}^3$$

$$W_{total} = W1 + W2 + W3 = 10,62 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat balok fender} = 10,62 \text{ m}^3 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 25500 \text{ kg}$$

$$\text{Berat sendiri fender SV800H} = 2359 \text{ kg}$$

$$\text{Berat total} = 25500 \text{ kg} + 2359 \text{ kg} = 27859 \text{ kg} = 27,85 \text{ ton}$$

$$\text{Jadi } Vu = 27,85 \text{ ton} \times 10000 = 278500 \text{ N}$$

Selanjutnya dihitung menggunakan cara perhitungan tulangan geser pada balok

Sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.1 V_c untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja dapat dihitung sebagai berikut dengan $\lambda = 1$ untuk beton nominal normal berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 8.6.1

$$- V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b \times d = 2747161 \text{ N}$$

$$- \phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 2747161 \text{ Nmm} = 2060371 \text{ N}$$

$$- 0,5 \cdot \phi \cdot V_c = 0,5 \cdot 2060371 \text{ Nmm} = 1030185 \text{ N}$$

$$V_{s_{min}} = \frac{b \cdot d}{3} = \frac{3000 \text{ mm} \cdot 910,5 \text{ mm}}{3} \\ = 910500 \text{ mm}$$

$$- \phi (V_c + V_{s_{min}}) = 0,75 (2747161 + 910500) \\ = 2743246 \text{ N}$$

$$V_{s_{max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ = \frac{1}{3} \times \sqrt{29,05 \text{ N/mm}^2} \times 3000 \text{ mm} \times 910,5 \text{ mm} \\ = 4907417,6 \text{ N}$$

$$- \phi (V_c + V_{s_{max}}) = 0,75 (2747161 + 4907417,6) \\ = 6149116 \text{ N}$$

$$2V_{s_{max}} = 2 \times 4907417,6 \text{ MPa} = 9814835,25 \text{ N}$$

$$- \phi (V_c + 2V_{s_{max}}) = 0,75 \cdot (2747161 + 9814835,2)$$

$$= 10221379 \text{ N}$$

Cek kondisi :

1. Kondisi Geser 1 \rightarrow Tidak memerlukan tulangan geser
 $V_u \leq 0,5 \cdot \varphi \cdot V_c$
 $278500 \text{ N} > 1030185 \text{ N}$ (**Memenuhi**)
2. Kondisi Geser 2 \rightarrow memerlukan tulangan geser minimum
 $0,5 \cdot \varphi \cdot V_c \leq V_u \leq \varphi \cdot V_c$
3. Kondisi Geser 3 \rightarrow memerlukan tulangan geser minimum
 $\varphi \cdot V_c \leq V_u \leq \varphi(V_c + V_{s_{min}})$
4. Kondisi Geser 4 \rightarrow memerlukan tulangan geser
 $\varphi(V_c + V_{s_{min}}) \leq V_u \leq \varphi(V_c + V_{s_{max}})$
5. Kondisi Geser 5 \rightarrow memerlukan tulangan geser
 $\varphi(V_c + V_{s_{max}}) \leq V_u \leq \varphi(V_c + 2V_{s_{max}})$

Kondisi geser 1 memenuhi syarat, walaupun tidak memerlukan tulangan geser tetapi tetap dibutuhkan tulangan geser minimum.

Direncanakan tulangan geser dengan jarak **200 mm**

$$- Av = \frac{b \cdot s}{3 \cdot f_y} = \frac{3000 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm}}{3 \cdot 400 \text{ MPa}} = 500 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan geser **2 kaki D22 - 200 mm**

$$\begin{aligned}
 - Av_{pakai} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n \text{ kaki} \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2 \cdot 2 = 760,2 \text{ mm}^2 \\
 - V_s &= \frac{Av_{pakai} \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{760,2 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} \cdot 910,5 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \\
 &= 66799,82 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek,

$$V_u \leq \varphi(V_c + V_s)$$

$$278500 \text{ N} \leq 0,75(2747161 \text{ N} + 66799,82 \text{ N})$$

$$278500 \text{ N} \leq 358711,53 \text{ N} \text{ (**OK**)}$$

7.5.3.2 Penulangan lentur balok

Penulangan lentur pada balok fender menggunakan reaksi momen yang terjadi pada balok fender pada saat terjadi tumbukan kapal pada fender.

$$\begin{aligned} M_{\text{terjadi}} &= R_{\text{fender}} \cdot \frac{1}{2} \text{ Tinggi balok fender} \\ &= 90 \text{ ton} \times \frac{1}{2} 4,5 \text{ m} = 202,5 \text{ ton m} \\ &= 2025000000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Selanjutnya dihitung menggunakan cara perhitungan tulangan lentur pada balok

$$\begin{aligned} M_u &= 2025000000 \text{ Nmm} \\ M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{2025000000 \text{ Nmm}}{0,8} = 2531250000 \text{ Nmm} \\ R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{135181748,8}{1000 \cdot 910,5^2} = 3,05 \\ \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\ \rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,85 \cdot 0,8425 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0317 \\ \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0317 = 0,0238 \\ \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,19} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,199 \cdot 0,00395}{400}} \right) \\ &= 0,008 \end{aligned}$$

$\rho_{\max} > \rho > \rho_{\min}$

Maka digunakan $\rho = 0,008$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,008 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 910,5 \text{ mm} = 7442,96 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan diameter D29 – 75

$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b/s \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \cdot \frac{1000}{75} = 8806,93 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat, $A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$

Cek kemampuan nominal :

$$T = A_{st} \cdot f_y = 8806,93 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ MPa} = 3522772,5 \text{ N}$$

$$a = \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{3522772,5 \text{ N}}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 1000} = 10,36 \text{ mm}$$

$$\phi \cdot M_n = \phi \cdot T \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,8 \cdot 3522772,5 \text{ N} \left(910,5 \text{ mm} - \frac{10,36 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$= 2,42 \times 10^{12} \text{ Nmm}$$

Syarat, $\phi M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$

7.5.4 Perhitungan panjang penyaluran ke struktur atas pada berthing dolphin

Data perencanaan :

| | |
|---------------------|---|
| Lebar pile cap | = 5000 mm |
| Tinggi pile cap (h) | = 2000 mm |
| Tebal selimut (p) | = 100 mm |
| Tebal efektif (d) | = 3384 mm |
| D tiang | = 812,8 mm |
| Tebal tiang | = 16 mm |
| D dalam tiang | = 780,8 mm |
| ϕ | = 0,7 |
| f_c' | = 29,05 Mpa |
| f_y | = 400 Mpa |
| D. tul pile cap | = 29 mm |
| D. tul geser | = 13 mm |
| σ_e | = 460 MPa |
| tebal las | = 5 mm |
| P kerja | = 216267 N tidak ada gaya cabut (out put SAP 2000) |

7.5.4.1 Kontrol kekuatan beton dalam tiang

$$\begin{aligned}
 P_{\text{beton dalam tiang}} &\geq P_{\text{kerja}} \\
 P_{\text{beton dalam tiang}} &= A_{\text{beton}} \cdot 0,85 \cdot \phi \cdot f_c' \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 812,8^2 \cdot 0,85 \cdot 0,7 \cdot 29,05 \text{ MPa} \\
 &= 8968512 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{beton dalam tiang}} > P_{\text{kerja}} \rightarrow \text{OK}$$

7.5.4.2 Kontrol retak pile cap

$$\begin{aligned}
 V_c &= 1/6 \cdot f_c' \cdot b \cdot d \\
 &= 1/6 \cdot 29,05 \cdot 5000 \cdot 780,8 \\
 &= 18901867 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat : } P_{\text{kerja}} &\leq \phi \cdot 2V_c \\
 216267 \text{ N} &< 0,7 \cdot 2 \cdot 18901867 \text{ N} \\
 216267 \text{ N} &< 26462613 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

7.5.4.3 Kontrol kekuatan las

Direncanakan menggunakan las E 60 XX dengan tegangan izin tarik las (σ_e) = 460 MPa. Ketebalan las rencana adalah 5 mm. Maka kekuatan las dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Kekuatan las} &= \text{keliling las} \times \text{tebal las} \times \sigma_e \\ &= \pi \cdot 812,8 \text{ mm} \cdot 5 \cdot 460 \text{ MPa} \\ &= 5873019 \text{ N}\end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}\text{Kekuatan las} &> P \text{ kerja} \\ 5873019 \text{ N} &> 216267 \text{ N} \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

7.5.4.4 Jarak shear ring

$$\begin{aligned}s \cdot \sqrt{f'c'} \cdot 1/6 &< 0,85 \cdot f'c' \cdot D \\ s &< \frac{0,85 \cdot f'c' \cdot D}{\sqrt{f'c'} \cdot 1/6} \\ s &< \frac{0,85 \cdot 29,05 \text{ MPa} \cdot 25}{\sqrt{29,05} \cdot 1/6} \\ s &< 687,2 \text{ mm}\end{aligned}$$

Jarak maksimum shear ring adalah 200 mm, maka dipasang tulangan shear ring D13 – 200 mm.

7.5.4.5 Perhitungan tulangan dari tiang ke struktur atas

Perhitungan tulangan dari tiang ke struktur atas diambil nilai yang terbesar antara cara berikut :

$$\begin{aligned}- A_{s\text{perlu}} \cdot f_{y\text{tulangan}} &= P / \phi \\ A_{s\text{perlu}} &= P / (\phi \cdot f_{y\text{tulangan}}) \\ &= 216267 \text{ N} / (0,7 \cdot 400) = 772,38 \text{ mm}^2 \\ - 1\% \text{ luas penampang beton:} \\ A_{s\text{perlu}} &= 0,01 \cdot L_{\text{beton dalam tiang}} \\ &= 0,01 \cdot 0,25 \pi \cdot 780,8^2 = 4788,16 \text{ mm}^2 \\ \text{Maka diambil } A_{s\text{perlu}} &\text{ terbesar yaitu } 4788,16 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Di gunakan tulangan **10 – D25**

$$A_{st} = \frac{1}{4} \pi 25^2 \cdot 10 = 4908,73 \text{ mm}^2 \quad A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$$

Nilai yang diperhitungkan untuk panjang penyaluran dalam tekan yaitu dihitung sesuai dengan persamaan berikut :

$$S = db \cdot \frac{f_y}{4\sqrt{f_c'}} \\ = 25 \text{ mm} \cdot \frac{400 \text{ MPa}}{4\sqrt{29,05 \text{ MPa}}} = 463,83 \text{ mm}$$

Dan tidak boleh kurang dari :

$$S_{\min} = 0,5 \times \text{tinggi pile cap} \\ = 0,5 \times 1500 \text{ mm} = 750 \text{ mm}$$

Maka dipakai panjang penyaluran terbesar yaitu 750 mm, dipasang panjang penyaluran tekan = 800 mm

Panjang penyaluran dasar tulangan dalam kondisi tarik dihitung menurut **SNI – 2847 2013 pasal 14.2** dengan metode sebagai berikut :

$$L_{dh} = \frac{3 \cdot f_y \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{5 \cdot \sqrt{f_c'}} \cdot db$$

Dengan :

$$\alpha = 1$$

$$\beta = 1$$

$$\lambda = 1$$

Sehingga :

$$L_{dh} = \frac{3 \cdot 400 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{5 \cdot \sqrt{29,05}} \cdot db \\ = 1113,21 \text{ mm}$$

Sehingga dipakai panjang penyaluran dasar tulangan dalam kondisi tarik adalah 1200 mm

7.5.4.6 Perhitungan base plate

Base plate merupakan penahan beton segar saat proses pengisian beton tiang pancang. Base plate direncanakan dengan menggunakan plat baja dengan tebal 10 mm.

Sedangkan untuk menahan base plate pada tiang pancang, digunakan tulangan pengait.

Berat yang harus dipikul oleh base plate adalah :

$$\begin{aligned} P &= A_{\text{dalam tiang}} (t_p \cdot B_{\text{baja}} + B_{\text{beton}} \cdot L) \\ &= \frac{1}{4} \pi (0,7808)^2 (0,01 \cdot 7850 + 2400 \cdot 1,2) \\ &= 2099,61 \text{ kg} \end{aligned}$$

Perhitungan pengait base plate :

$$\begin{aligned} A &= P / \sigma \\ &= (2099,61 \text{ kg}) / (1600 \text{ kg/cm}^2) \\ &= 1,312 \text{ cm}^2 = 131,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

($\sigma = 1600 \text{ kg/cm}^2$ adalah tegangan izin pengait A307 dengan mutu normal.)

Direncanakan digunakan 4 pengait maka, A_s tiap pengait adalah :

$$A_s = 131,2 / 4 = 32,80 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai pengait **4 D10** ($A_{st} = 78,5 \text{ mm}^2$)

Syarat, $A_{st} > A_s \rightarrow \text{OK}$

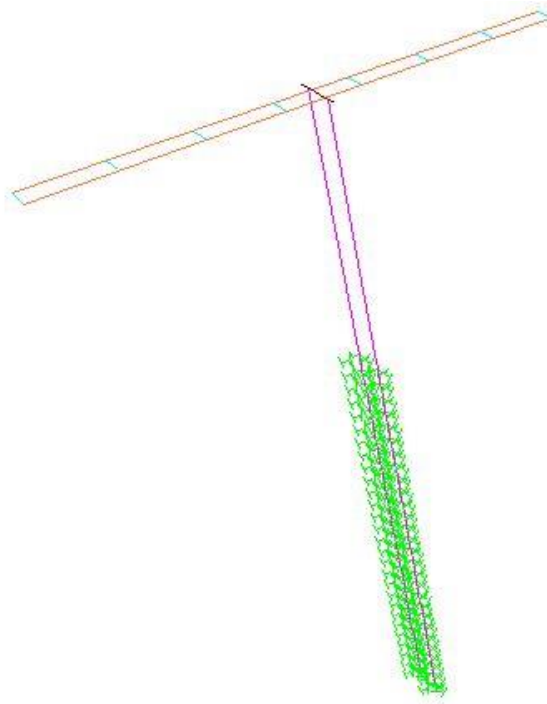
7.6 Perencanaan Struktur Catwalk

7.6.1 Permodelan Catwalk

Besar pembebanan pada catwalk telah dianalisa pada subbab 4.8.1 dengan rincian :

- Beban plat lantai baja
- Berat profil WF
- Beban air hujan
- Beban pejalan kaki
- Beban tiang sandaran

Catwalk kemudian dimodelkan dengan program SAP2000



Gambar 7. 5 Permodelan struktur catwalk dengan SAP2000

7.6.2 Permodelan Catwalk

Catwalk menggunakan profil baja WF 400 300 9 14 sebagai gelagar memanjang dan baja WF 125 60 6 8 sebagai gelagar melintang dan mutu baja 240 MPa (BJ 37).

Berikut adalah perhitungan struktur catwalk mooring – mooring dengan panjang bentang (L) = 30 meter.

7.6.2.1 Kontrol Penampang

Berdasarkan RSNI T-03-2015, Perhitungan kekompakan penampang dihitung dengan memperhatikan kekompakan dari *web* (badan) dan *flens* (sayap) profil yang dihitung dengan :

- Web

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{fy}}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= hw / tw \\ &= (d - 2(tf + r)) / tw \\ &= (386 - 2(14 + 22)) / 9 \\ &= 34,89 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 1680 / \sqrt{fy} \\ &= 1680 / \sqrt{240} \\ &= 108,44 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow \text{kompak}$$

- Flens

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$\frac{b}{2.tf} \leq \frac{170}{\sqrt{fy}}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= b / 2.tf \\ &= 299 / 2.14 \\ &= 10,68 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 170 / \sqrt{fy} \\ &= 170 / \sqrt{240} \\ &= 10,97 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow \text{kompak}$$

7.6.2.2 Kontrol Tekuk Lateral

$$M_u = 178000000 \text{ N.mm (output SAP2000)}$$

$$Z_x = 1740 \text{ cm}^3 = 1740 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned}M_p &= Z_x \cdot f_y \\ &= 1740000 \cdot 290 \\ &= 504600000 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

$$\phi M_p = 0,9 \cdot 504600000$$

$$= 454140000 \text{ N.mm}$$

$$\phi M_p > M_u \rightarrow \text{OK}$$

7.6.2.3 Kontrol Lendutan Terjadi

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 pasal 6.4.3, lendutan terjadi harus lebih kecil dari lendutan izin $L/360$.

$L/360 \geq \text{Lendutan terjadi (output SAP2000)}$

$$32/360 \geq 0,01 \text{ m}$$

$$0,089 > 0,01 \rightarrow \text{OK}$$

7.6.3 Sambungan antar Balok Girder Catwalk

Perhitungan sambungan antar balok girder dihitung dengan cara plastis.

Direncanakan :

Mutu baut = BJ 37

f_{ub} = 370 MPa

f_{yb} = 240 MPa

L = panjang bentang = 32 m

L_s = jarak sambungan ke tepi
= 4 m

Karena sambungan direncanakan sebagai sambungan sekuat profil, maka kuat lentur geser rencana dari profil harus dihitung sebagai berikut :

Momen = $\phi_b \cdot M_n$

$$= 0,9 \cdot Z_x \cdot f_y$$

$$= 0,9 \cdot 1074 \cdot 240 = 231894352 \text{ Nmm}$$

Geser = $\phi_c \cdot V_n$

$$= 0,9 \cdot 0,6 \cdot f_y \cdot h \cdot t_w = 366249,6 \text{ N}$$

Diasumsikan 90% momen lentur yang terjadi dipikul oleh plat sambung sayap dan sisanya dipikul oleh plat sambung badan.

7.6.3.1 Plat Sambung Sayap

Momen yang dipikul oleh plat sambung flens adalah sebesar 90% dari $\phi b \cdot M_n$.

$$\begin{aligned} \text{Momen dipikul} &= 0,9 \cdot \phi b \cdot M_n \\ &= 0,9 \cdot 23894352 = 23894352 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Asumsikan tebal plat (tpf) = 8 mm

$$\begin{aligned} F_f &= M / (d + tpf) = 23894352 / (386 + 8) \\ &= 54581 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan baut (Db) = Ø10

$$\begin{aligned} \text{Luas baut (Ab)} &= \frac{1}{4} \pi D_b^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi D_b^2 = 78,54 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Diameter lubang} = 10 + 2 = 12 \text{ mm}$$

Diameter lubang disesuaikan dengan diameter baut, dimana $D_b + 2$ untuk $D_b < 24 \text{ mm}$ dan $D_b + 3$ untuk $D_b > 24$.

Tipe baut yang direncanakan adalah A325 dengan proof stress (f_yb) = 585 MPa dan kuat tarik minimum (f_{ub}) = 825 MPa.

Menghitung tahanan baut :

$$\begin{aligned} \text{Geser} &= \phi \cdot R_n = \phi \cdot 0,5 \cdot f_{ub} \cdot m \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 825 \cdot 1 \cdot 78,54 \\ &= 24298,256 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tumpu} &= \phi \cdot R_n = \phi \cdot 2,4 \cdot D_b \cdot tpf \cdot f_u \\ &= 0,75 \cdot 2,4 \cdot 10 \cdot 8 \cdot 370 \\ &= 53280 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah baut (n)} &= F_f / \phi \cdot R_n \text{ geser} \\ &= 54581 / 24298,256 \\ &= 2,246 \approx 4 \text{ baut} \end{aligned}$$

Baut dipasang dalam 2 baris, asumsikan lebar plat = lebar girder = 299 mm

Lebar neto plat sambung

$$\begin{aligned} W_n &= b - (D_b \cdot \text{jumlah baris}) \\ &= 299 - (12 \cdot 2) = 275 \text{ mm} \end{aligned}$$

Periksa terhadap kondisi leleh :

$$\begin{aligned}
 T_{min} &\geq T_u / (0,9 \cdot W_n \cdot f_y) \\
 &= 54571 / (0,9 \cdot 275 \cdot 240) \\
 &= 0,91887 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Periksa terhadap kondisi fraktur :

$$\begin{aligned}
 T_{min} &\geq T_u / (0,75 \cdot W_n \cdot U \cdot f_y) \\
 &= 54571 / (0,75 \cdot 275 \cdot 1 \cdot 240) \\
 &= 1,1026 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Jarak antar baut} = 3 \cdot D_b = 3 \cdot 10 = 30$$

Digunakan 50 mm

$$\text{Jarak baut ke tepi plat} = 1,5 D_b = 1,5 \cdot 10 = 15 \text{ mm}$$

Digunakan 25 mm

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar profil} &= 10 \text{ mm. Sehingga total panjang plat} \\ \text{sambung} &= 2 (2 \cdot 25 + (4/2) \cdot 1) \cdot 50 + 10 = 210 \text{ mm} \end{aligned}$$

7.6.3.2 Plat Sambung Badan

$$\text{Gaya geser (Vu)} = 366249,6 \text{ N}$$

$$\text{Momen dipikul} = 0,1 \cdot Vu = 2389435,2 \text{ Nmm}$$

Asumsi :

$$\text{Diameter baut} = \varnothing 10$$

$$A_b = 78,5 \text{ mm}^2$$

$$D \text{ lubang} = 12 \text{ mm}$$

Direncanakan tipe baut adalah A325 dengan proof stress (f_y) = 585 MPa dan kuat tarik minimum (f_u) = 825 MPa.

$$\text{Jumlah baut (n)} = 8 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah baris (nr)} = 2 \text{ baris}$$

$$\text{Jarak antar baut (sb)} = 3 \cdot D_b = 3 \cdot 10 = 30$$

Digunakan 50 mm

$$\text{Jarak baut ke tepi plat (sp)} = 1,5 D_b = 1,5 \cdot 10 = 15 \text{ mm}$$

Digunakan 25 mm

$$\text{Jarak antar profil (sg)} = 10 \text{ mm}$$

Jarak antar baut disamakan dengan plat sambung sayap.

$$\begin{aligned}
 e &= \text{eksentris ekuivalen} = sb/2 + sp \\
 &= 50/2 + 25 = 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{ni} &= 0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_b \cdot m = 0,5 \cdot 825 \cdot 78,5 \cdot 2 \\
 &= 647625 \text{ N} \\
 &= 6,47625 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan metode trial error untuk mengetahui panjang r_0 , di mana r_0 merupakan jarak dari pusat gaya rangkaian baut (CG) ke pusat rotasi (IC). Perhitungan dilakukan dengan mengukur jarak dari tiap baut ke IC dengan mengasumsikan r_0 hingga nilai $P_n = \sum R_i \cdot X_i / d_i$ dan $P_n' = \sum R_i \cdot d_i / (e + r_0)$. Didapat $r_0 = 64,105 \text{ mm}$. Adapun rekapitulasi perhitungan dapat dilihat padatable 5.2 berikut.

$$P_n = \sum R_i \cdot X_i / d_i = 36,753 \text{ ton}$$

$$P_n' = \sum R_i \cdot d_i / (e + r_0) = 36,753 \text{ ton}$$

$$P_n = P_n' \rightarrow \text{OK}$$

$$P_n > V_u \rightarrow \text{OK}$$

Tinggi plat sambung badan

$$\begin{aligned}
 h_b &= 2 \cdot s_p + (s_b \cdot (n / n_r - 1)) \\
 &= 2 \cdot 25 + (50 (8 / 2 - 1)) \\
 &= 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_b &= 2 \cdot ((s_g / 2) + (2 \cdot s_p) + ((s_b \cdot (n_r - 1))) \\
 &= 2 \cdot ((10 / 2) + (2 \cdot 25) + ((50 (2 - 1)))) \\
 &= 210 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tebal plat (tp)} = 8 \text{ mm}$$

Periksa terhadap geser :

$$\begin{aligned}
 \text{Geser leleh} &= \phi(0,6f_y)A_g = 0,9 (0,6 \cdot 240) \cdot (200 \cdot 8) \\
 &= 2073620 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Geser fraktur} &= \phi(0,6f_u)A_n = 0,9(0,6 \cdot 370) \cdot (200 \cdot 8) \\
 &= 404928 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\text{Geser fraktur rencana} > \text{geser fraktur} \rightarrow \text{OK}$$

7.6.4 Sambungan Girder – Diafragma Catwalk

Data perencanaan:

Profil Girder: WF 400.300.9.14

Berat profil baja = 94,3 kg/m

| | |
|-------------------------------|--------------------------|
| Tinggi (d) | = 386 mm |
| Lebar (b) | = 299 mm |
| Tebal badan (tw) | = 9 mm |
| Tebal sayap (tf) | = 14 mm |
| Luas penampang (A) | = 120,1 cm ² |
| Profil Diafragma : | WF 125.60.6.8 |
| Berat profil baja | = 13,2 kg/m |
| Tinggi (d) | = 125 mm |
| Lebar (b) | = 60 mm |
| Tebal badan (tw) | = 6 mm |
| Tebal sayap (tf) | = 8 mm |
| Luas penampang (A) | = 16,84 cm ² |
| Jarak diafragma (λ) | = 4 m |
| Mutu baut dan plat : BJ 41 | |
| fub | = 410 kg/m |
| fyb | = 250 MPa |
| tebal plat (tp) | = 11 mm |
| D.baut | = Ø8 mm |
| Luas bidang (Ab) | = 0,5026 mm ² |
| D.lubang (Db) | = 9,5 mm |

7.6.4.1 Sambungan pada Gelagar Memanjang 1 bidang geser

Kekuatan izin baut

Kekuatan geser baut (Vd)

$$\begin{aligned}
 V_n &= m \cdot r_1 \cdot f_{ub} \cdot A_b \\
 &= 1 \cdot 0,48 \cdot (410 \cdot 10) \cdot 0,5026 \\
 &= 989,225 \text{ kg} \\
 V_d &= V_n \cdot \phi \\
 &= 989,225 \cdot 0,75 \\
 &= 741,919 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kekuatan tumpu baut (Rd)

$$\begin{aligned}
 R_n &= 2,4 \cdot D_b \cdot t_p \cdot f_{ub} \\
 &= 2,4 \cdot (9,5/10) \cdot (11/10) \cdot (410/10) \\
 &= 10282,8 \text{ kg} \\
 R_d &= \phi \cdot R_n \\
 &= 0,75 \cdot 10282,8 \text{ kg} \\
 &= 7712,1 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Gaya yang bekerja (P) = 689 kg (output SAP2000)

Baut yang digunakan

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah baut (n)} &= P / V_d \\
 &= 689 / 741,919 \\
 &= 0,92867 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Syarat jarak baut berdasarkan segi perencanaan

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak antar baut} &= 3 \cdot D_b \\
 &= 3 \cdot 8 = 24 \text{ mm} \approx 25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak baut ke tepi plat} &= 1,5 \cdot D_b \\
 &= 1,5 \cdot 8 = 12 \text{ mm} \approx 20 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total panjang plat} &= 2 \cdot 20 + (25 \cdot (2 - 1)) \\
 &= 65 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

7.6.4.2 Sambungan pada Diafragma (2 bidang geser)

Kekuatan izin baut

Kekuatan geser baut (V_d)

$$\begin{aligned}
 V_n &= m \cdot r_l \cdot f_{ub} \cdot A_b \\
 &= 2 \cdot 0,48 \cdot (410/10) \cdot 0,5026 \\
 &= 1978,45 \text{ kg} \\
 V_d &= V_n \cdot \phi \\
 &= 1978,45 \cdot 0,75 \\
 &= 1486,84 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kekuatan tumpu baut (R_d)

$$\begin{aligned}
 R_n &= 2,4 \cdot D_b \cdot t_p \cdot f_{ub} \\
 &= 2,4 \cdot (9,5/10) \cdot (11/10) \cdot (410/10) \\
 &= 10282,8 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_d &= \phi \cdot R_n \\
 &= 0,75 \cdot 10282,8 \text{ kg} \\
 &= 7712,1 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Gaya yang bekerja (P) = 689 kg (output SAP2000)

Baut yang digunakan

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah baut (n)} &= P / V_d \\
 &= 689 / 1486,84 \\
 &= 0,46434 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Syarat jarak baut berdasarkan segi perencanaan

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang plat sambung} &= 65 \text{ mm} \\
 \text{Jarak antar baut} &= 3 \cdot D_b \\
 &= 3 \cdot 8 = 24 \text{ mm} \approx 25 \text{ mm} \\
 \text{Jarak baut dengan tepi} &= (65 - ((2 - 1) \cdot 25)) / 2 \\
 &= 20 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

7.6.4.3 Kontrol Plat Siku

Plat diku dipakai : 65.65.8

$$\begin{aligned}
 \text{Luas geser plat siku} &= A_{nv} = L_{mv} \cdot t_L \\
 &= (L - n - D_b) \cdot t_L \\
 &= (65 - 2 - 9,5) \cdot 8 \\
 &= 428 \text{ mm}^2 \\
 \text{Kuat rencana} &= \phi \cdot R_n = 0,75 \cdot 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} \\
 &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot (410 \cdot 10) \cdot (428/100) \\
 &= 7896,6 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\phi \cdot R_n > P \rightarrow \text{OK}$$

7.6.5 Penulangan Cap Beam Catwalk

Data perencanaan :

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar (b)} &= 1000 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi (d)} &= 1000 \text{ mm} \\
 \text{Selimut beton (p)} &= 100 \text{ mm} \\
 \phi \text{ lentur} &= 0,8 \\
 \phi \text{ torsi} &= 0,75 \\
 \phi \text{ geser} &= 0,75
 \end{aligned}$$

Mutu beton :

$$\begin{aligned}
 K &= 350 \text{ kg/cm}^2 \\
 f_c' &= 29.05 \text{ MPa} \\
 \beta &= 0,85 - (0,008 \cdot (f_c' - 30)) \\
 &= 0,85 - (0,008 \cdot (29,05 - 30)) \\
 &= 0,8576 \\
 E_b &= 4700 \sqrt{f_c'} \\
 &= 4700 \sqrt{29,05} \\
 &= 25332,08
 \end{aligned}$$

Mutu baja :

$$\begin{aligned}
 f_y &= 400 \text{ MPa} \\
 E_s &= 200000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dalam perencanaan yang dilakukan, digunakan gaya dalam yang merupakan output SAP 2000 seperti yang disajikan dalam table 5.3 berikut.

7.6.5.1 Perhitungan Tulangan Lentur Tumpuan

$$\begin{aligned}
 M_u &= 0,63 \text{ ton.m} \\
 M_n &= M_u / \phi \\
 &= 0,63 / 0,8 \\
 &= 0,7875 \text{ ton.m} = 7875000 \text{ N.mm} \\
 D &= h - p \\
 &= 1000 - 100 = 900 \text{ mm} \\
 m &= f_y / (0,85 \cdot f_c') \\
 &= 400 / (0,85 \cdot 29,05) = 16,1993 \\
 R_n &= M_n / (b \cdot d^2) \\
 &= 225025000 / (1000 \cdot 1000^2) \\
 &= 0,0097 \\
 \rho_{\min} &= 1,4 / f_y \\
 &= 1,4 / 400 = 0,0035 \\
 \rho_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0,03176
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{maks} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,03176 = 0,0238\end{aligned}$$

$$\rho_{min} > \rho$$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \cdot 1000 \cdot 1000 \\ &= 3150 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Diambil tulangan 7-D25

$$\begin{aligned}A_{st} &= \pi/4 \cdot D_2 \cdot n \\ &= \pi/4 \cdot 252 \cdot 7 = 3436,12 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Cek kemampuan nominal

$$\begin{aligned}T &= A_{st} \cdot f_y \\ &= 3436,12 \cdot 400 = 1374447 \text{ N} \\ a &= T / (0,85 \cdot f_c' \cdot b) \\ &= 1374447 / (0,85 \cdot 29,05 \cdot 400) \\ &= 55,6625 \text{ mm} \\ \phi M_n &= \phi \cdot T \cdot (d - a/2) \\ &= 0,8 \cdot 567057 (900 - 55,6625 / 2) \\ &= 958999617 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

$\phi M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$

7.6.5.2 Perhitungan Tulangan Lentur Lapangan

$$\begin{aligned}M_u &= 1,654 \text{ ton.m} \\ M_n &= M_u / \phi \\ &= 1,654 / 0,8 \\ &= 2,0675 \text{ ton.m} = 20675000 \text{ N.mm} \\ d &= h - p \\ &= 1000 - 100 = 900 \text{ mm} \\ m &= f_y / (0,85 \cdot f_c') \\ &= 400 / (0,85 \cdot 29,05) = 16,1993 \\ R_n &= M_n / (b \cdot d^2) \\ &= 225025000 / (1000 \cdot 1000^2) \\ &= 0,0097 \\ P_{min} &= 1,4 / f_y\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,4/400 = 0,0035 \\
 P_b &= 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_{c'}'}{f_y} \cdot \frac{600}{600+f_y} \\
 &= 0,85 \cdot 0,8676 \cdot \frac{29,05}{400} \cdot \frac{600}{600+400} \\
 &= 0,03176 \\
 \rho_{maks} &= 0,75 \cdot \rho_b \\
 &= 0,75 \cdot 0,03176 = 0,0238
 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} > \rho$$

Maka digunakan $\rho = 0,0035$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0035 \cdot 1000 \cdot 1000 \\
 &= 3150 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Diambil tulangan 7-D25

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \pi/4 \cdot D_2 \cdot n \\
 &= \pi/4 \cdot 252 \cdot 7 = 3436,12 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek kemampuan nominal

$$\begin{aligned}
 T &= A_{st} \cdot f_y \\
 &= 3436,12 \cdot 400 = 1374447 \text{ N} \\
 a &= T / (0,85 \cdot f_c' \cdot b) \\
 &= 1374447 / (0,85 \cdot 29,05 \cdot 400) \\
 &= 55,6625 \text{ mm} \\
 \phi M_n &= \phi \cdot T \cdot (d - a/2) \\
 &= 0,8 \cdot 567057 (900 - 55,6625 / 2) \\
 &= 958999617 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_u \rightarrow \text{OK}$$

7.6.5.3 Perhitungan Tulangan Geser

$$\begin{aligned}
 V_u &= 2,1 \text{ ton} \\
 V_n &= V_u / \phi \\
 &= 2,1 / 0,75 = 2,8 \text{ ton} \\
 V_c &= 80,847 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Pengecekan keperluan tulangan geser :

Kondisi 1 :

$$\begin{aligned}
 V_u &< \phi \cdot V_c \\
 &< 0,75 \cdot 80,847 \text{ ton} \\
 &< 60,635 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

Kondisi 2 :

$$\begin{aligned}
 V_u &< 5 \cdot \phi \cdot V_c \\
 &< 5 \cdot 0,75 \cdot 80,847 \text{ ton} \\
 &< 303,177 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

Kondisi 3 :

$$\begin{aligned}
 V_u &< 0,5 \cdot \phi \cdot V_c \\
 &< 0,5 \cdot 0,75 \cdot 80,847 \text{ ton} \\
 &< 30,318 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

Dikarenakan ketiga kondisi memenuhi, maka tidak diperlukan tulangan geser. Di baut tulangan praktis D13 – 300.

7.6.6 Perhitungan Panjang Penyaluran ke Struktur

Atas

Data perencanaan :

| | |
|-----------------|------------|
| Lebar pile cap | = 1000 mm |
| Tinggi pile cap | = 1000 mm |
| Cover | = 100 mm |
| d efektif | = 887,5 mm |
| D tiang | = 600 mm |
| Tebal tiang | = 14 mm |
| D dalam tiang | = 572 mm |
| ϕ | = 0,7 |
| f_c' | = 29,05 |
| f_y | = 400 |
| D. tul pile cap | = 25 mm |
| D. tul tiang | = 25 mm |
| D. tul sengkang | = 12 mm |
| σ_e | = 460 |
| tebal las | = 5 mm |
| P kerja | = 0 N |

7.6.6.1 Kontrol Kekuatan Beton dalam tiang

P beton dalam tiang \geq P kerja

$$\begin{aligned} P \text{ beton} &= A_{\text{beton}} \cdot 0,85 \cdot \phi \cdot f_c' \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 600^2 \cdot 0,85 \cdot 0,7 \cdot 29,05 \\ &= 4441657 \text{ N} \end{aligned}$$

P beton $>$ P kerja \rightarrow OK

7.6.6.2 Kontrol Retak Pile Cap

$$\begin{aligned} V_c &= 1/6 \cdot f_c' \cdot b \cdot d \\ &= 1/6 \cdot 29,05 \cdot 1000 \cdot 887,5 \\ &= 797242 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat : P kerja $\leq \phi \cdot 2V_c$

$$0 \text{ N} < 0,7 \cdot 2 \cdot 797242 \text{ N}$$

$$0 \text{ N} < 1116139 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$$

7.6.6.3 Kontrol Kekuatan Las

Direncanakan menggunakan las E 60 XX dengan tegangan izin tarik las (σ_e) = 460 MPa. Ketebalan las rencana adalah 5 mm. Maka kekuatan las dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} K_l &= \text{keliling las} \times \text{tebal las} \times \sigma_e \\ &= \pi \cdot 600 \cdot 5 \cdot 640 \\ &= 4335398 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat :

$$K_l > P \text{ kerja}$$

$$4335398 \text{ N} > 0 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$$

7.6.6.4 Perhitungan Shear Ring

$$s \cdot f_c' \cdot 1/6 \cdot \pi \cdot D_d < 0,85 \cdot f_c' \cdot D_{sr} \cdot \pi \cdot D_d$$

$$s < \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot D_{sr} \cdot \pi \cdot D_d}{\sqrt{f_c'} \cdot 1/6 \cdot \pi \cdot D_d}$$

$$s < \frac{0,85 \cdot 29,05 \cdot 25}{\sqrt{29,05} \cdot 1/6}$$

$$s < 329,8561 \text{ mm}$$

Di ambil tulangan spiral : $\varnothing 12 - 300$

BAB VIII

KESIMPULAN

Berdasarkan perencanaan yang telah dilakukan pada bab – bab sebelumnya, dapat diperoleh kesimpulan antara lain :

1. Spesifikasi kapal rencana
 - Kapasitas kapal rencana : 10.000 DWT
 - Panjang kapal (LOA) : 140 m
 - Lebar kapal : 17,2 m
 - Draft : 9,8 m
2. Struktur dermaga yang direncanakan terdiri dari catwalk, platform, trestle, mooring dolphin dan berthing dolphin
3. Struktur catwalk direncanakan sebagai struktur rangka baja dengan spesifikasi :
 - Bentang
 - Platform – berthing : 8 m
 - Berthing – berthing : 16 m
 - Berthing – mooring : 28 m
 - Mooring – mooring : 32 m
 - Dimensi balok memanjang : WF 400.300.9.14
 - Dimensi balok melintang : WF 125.60.6.8
 - Lebar catwalk : 1,2 m
4. Struktur platform direncanakan beton bertulang dengan spesifikasi :
 - Elevasi : + 4,00 m LWS
 - Luas platform : 35 x 15 meter
 - Tebal plat : 35 cm
 - Dimensi balok memanjang : 80/100
 - Dimensi balok melintang : 40/80
 - Dimensi balok MLA : 60/80
 - Dimensi balok anak : 30/50
 - Tiang pancang : 914 mm tebal 19 mm
5. Struktur trestle direncanakan sebagai beton bertulang dengan spesifikasi :

- Lebar jalur trestle : 8 meter
 - Lebar perletakan pipa : 2 meter
 - Panjang trestle : 1200 meter
 - Tebal plat : 35 cm
 - Dimensi balok melintang : 100/100
 - Dimensi balok memanjang : 50/70
 - Tiang pancang : 812,8 tebal 16
6. Struktur Berthing dolphin direncanakan sebagai beton bertulang dengan spesifikasi :
- Dimensi : 5 x 6,75 meter
 - Tebal pile cap : 3,5 m
 - Tiang pancang : 812,8 tebal 16
 - Fender : SV 800H grade V4
 - Energi fender : 21,064 ton
 - Berat fender : 0,895 ton
7. Struktur Mooring dolphin direncanakan sebagai beton bertulang dengan spesifikasi :
- Dimensi : 6,5 x 6,5 meter
 - Tebal pile cap : 1,5 m
 - Tiang pancang : 812,8 tebal 16
 - Bollard : MT50

DAFTAR PUSTAKA

- Bureau of Ports and Harbours, Ministry Of Transport, 1980, *Technical Standards For Port and Harbour Facilities in Japan*. Japan.
- Bridgestone, Marine Fender Design Manual*
- Departemen Pekerjaan Umum Dirjen Bina Marga, 1992, *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan Bridge Management System (BMS)*, Jakarta
- Doshin Rubber Fender*
- Maritime Development Programme Directorate General of Sea Communications, 1984, *Standard Design Criteria For Port In Indonesia*. Jakarta
- Oil Company International Marine Forum (OCIMF)*
- Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971
- RSNI 2833-201X: *Perancangan Jembatan Terhadap Beban Gempa*
- SNI 1725-2016: *Standar Pembebanan Untuk Jembatan*
- Setiawan, Agus. 2008. *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD*. Penerbit Erlangga.
- SNI 2847 2013: *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*
- SNI T-12-2004: *Struktur Beton Untuk Jembatan*
- SNI 03-1729-2002: *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*
- Triatmodjo, Bambang. 1996. *Pelabuhan*. Yogyakarta : Beta Offset

PT. ITS Kemitraan. 2015. *DED Integrated Tank Terminal, Jetty Logistic Services (Tersus) PT. NATPAC GRAHA ARTHAMAS*. Brondong, Lamongan. Surabaya

Sosrodarsono, Ir. Suyono, Kazuto Nakazawa. 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: Pradnya Paramita.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Edo Yoga Prasetya, dilahirkan di Klaten, 15 Juni 1997. Penulis telah menempuh Pendidikan formal yaitu diTK Mutiara, SDN WAGE 2, SMPN 1 TAMAN SIDOARJO, SMAN 1 GEDANGAN SIDOARJO. Setelah lulus dari SMAN ! GEDANGAN pada tahun 2015, penulis mengikuti seleksi masuk ITS, dan diterima di Departemen Teknik Infrstruktur Sipil, Fakultas Vokasi, ITS pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 10111500000053. Selama di Departemen Teknik Infrstruktur Sipil, penulis mengambil bidang studi Bangunan Transportasi. Penulis aktif mengikuti organisasi JMMI ITS dan JMAA DTIS ITS. Penulis pernah menjalani kerja praktek di PT VIRAMA KARYA “Proyek Relokasi jalan tol Kejapanan, Porong, Sidoarjo”. Penulis dapat dihubungi via email : Edoyogapras@gmail.com

BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Hilwa Jaudah, lahir di Surabaya pada tanggal 18 November 1996. Berkepribadian INFJ dan merupakan anak ke-3 dari 5 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SMPN 6 Surabaya, SMAN 2 Surabaya, dan terakhir di Diploma 3 Teknik Sipil FV ITS. Ditahun

pertama, penulis aktif sebagai maba pada umumnya. Ditahun kedua, penulis mencoba untuk masuk sebagai staff himpunan tapi ditolak sebagaimana penulis ditolak sbmptn dan stan. Tapi Alhamdulillah akhirnya masuk kedalam staff LDJ walaupun sedikit pasif. Ditahun ketiga penulis (dan teman-teman seangkatan) sudah tidak bisa lagi se-happy dan se-longgar dulu karena adanya mata kuliah Kerja Praktek dan Tugas Akhir. Namun disinilah kami merasa “dibentuk” karena menumbuhkan rasa tanggung jawab untuk menyelesaikan tugas tugas tersebut jika ingin lulus tepat waktu. Selama masa perkuliahan, penulis Alhamdulillah tidak pernah dapat nilai C, tetapi pernah mendapatkan nilai D sebanyak 3 kali. Penulis juga heran kenapa bisa seperti itu. Akhir kata, penulis akan memberi quote yang ada hubungannya dengan Tugas Akhir yaitu “*slow progress is still progress*”. Jangan terbiasa menunda, kerjakan selagi sempat walaupun hanya sedikit. Apabila pembaca perlu perlu melakukan korespondensi, dipersilahkan untuk menghubungi: hilwa6@gmail.com



LAMPIRAN GAMBAR TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501

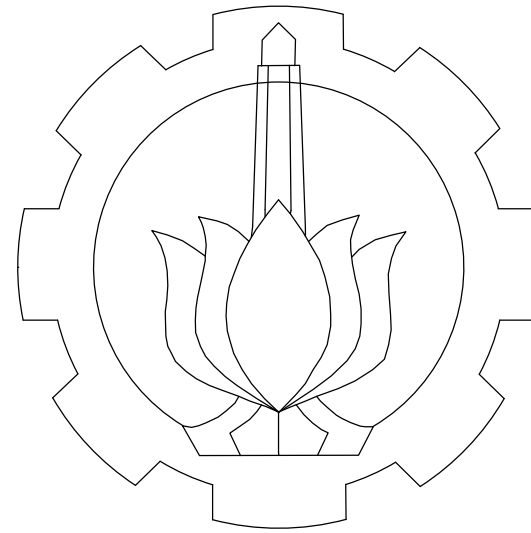
MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR DERMAGA MINYAK BRONDONG LAMONGAN DENGAN KAPASITAS 5.000 DWT DAN 10.000 DWT

EDO YOGA PRASETYA
NRP. 10111500000053

HILWA JAUDAH
NRP. 10111500000099

DOSEN PEMBIMBING
Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
NIP. 19571119 198503 1 001

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018



D III TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

GAMBAR ARSITEKTUR DAN STRUKTUR

TUGAS AKHIR TERAPAN

MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

OLEH :

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DAFTAR GAMBAR PERENCANAAN

| NO | NAMA GAMBAR | HAL |
|----|------------------------------------|-----|
| 1 | PETA BATHYMETRI DAN LAYOUT DERMAGA | 1 |
| 2 | LAYOUT DERMAGA KAPAL 10.000 DWT | 2 |
| 3 | LAYOUT DERMAGA KAPAL 5.000 DWT | 3 |
| 4 | SIMULASI FENDER DAN BOLLARD KAPAL | 4 |
| 5 | TAMPAK ATAS TRESTLE | 5 |
| 6 | DENAH TRESTLE | 5 |
| 7 | DENAH PELAT LANTAI TRESTLE | 6 |
| 8 | DENAH BALOK TRESTLE | 6 |
| 9 | DENAH PILE CAP TRESTLE | 7 |
| 10 | DENAH TIANG PANCANG TRESTLE | 7 |

| NO | NAMA GAMBAR | HAL |
|----|------------------------------------|-----|
| 11 | POTONGAN MELINTANG TRESTLE | 8 |
| 12 | POTONGAN MEMANJANG TRESTLE | 9 |
| 13 | DENAH PENULANGAN PELAT LANTAI | 10 |
| 14 | POTONGAN PENULANGAN PELAT LANTAI | 11 |
| 15 | PENULANGAN BALOK MEMANJANG TRESTLE | 12 |
| 16 | PENULANGAN BALOK MELINTANG TRESTLE | 13 |
| 17 | PENULANGAN PILE CAP TRESTLE | 14 |
| 18 | TAMPAK ATAS PLATFORM | 15 |
| 19 | DENAH PLATFORM | 15 |
| 20 | DENAH PELAT LANTAI PLATFORM | 16 |

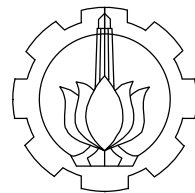
DAFTAR GAMBAR PERENCANAAN

| NO | NAMA GAMBAR | HAL |
|----|---------------------------------------|-----|
| 21 | DENAH BALOK PLATFORM | 16 |
| 22 | DENAH PILE CAP PLATFORM | 17 |
| 23 | DENAH TIANG PANCANG PLATFORM | 17 |
| 24 | POTONGAN MEMANJANG PLATFORM | 18 |
| 25 | POTONGAN MELINTANG PLATFORM | 19 |
| 26 | PENULANGAN PELAT LANTAI PLATFORM | 20 |
| 27 | POT. PENULANGAN PELAT LANTAI PLATFORM | 20 |
| 28 | PENULANGAN BALOK MELINTANG PLATFORM | 21 |
| 29 | PENULANGAN BALOK MEMANJANG PLATFORM | 22 |
| 30 | PENULANGAN PILE CAP PLATFORM | 23 |

| NO | NAMA GAMBAR | HAL |
|----|-------------------------------------|-----|
| 31 | TAMPAK SAMPING BERTHING DOLPHIN | 24 |
| 32 | TAMPAK DEPAN BERTHING DOLPHIN | 24 |
| 33 | TAMPAK ATAS BERTHING DOLPHIN | 25 |
| 34 | DENAH PILE BERTHING DOLPHIN | 25 |
| 35 | TAMPAK ATAS MOORING DOLPHIN | 26 |
| 36 | DENAH PILE MOORING DOLPHIN | 26 |
| 37 | TAMPAK SAMPING MOORING DOLPHIN | 27 |
| 38 | TAMPAK DENPAN MOORING DOLPHIN | 27 |
| 39 | PENULANGAN PILE CAP MOORING DOLPHIN | 28 |
| 40 | DENAH PENULANGAN MOORING DOLPHIN | 28 |

DAFTAR GAMBAR PERENCANAAN

| NO | NAMA GAMBAR | HAL |
|----|--|-----|
| 41 | DENAH PENULANGAN BERTHING DOLPHIN | 29 |
| 42 | POTONGAN A - A' BERTHING DOLPHIN | 29 |
| 43 | DENAH PILE MOORING DOLPHIN (MD 1 , MD 6) | 30 |
| 44 | DETAIL FENDER | 31 |
| 45 | TAMPAK BOLLARD | 32 |
| 46 | DENAH CATWALK | 33 |



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

PETA BATHYMETRI
DAN
LAYOUT DERMAGA

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:10000

KODE
GAMBAR

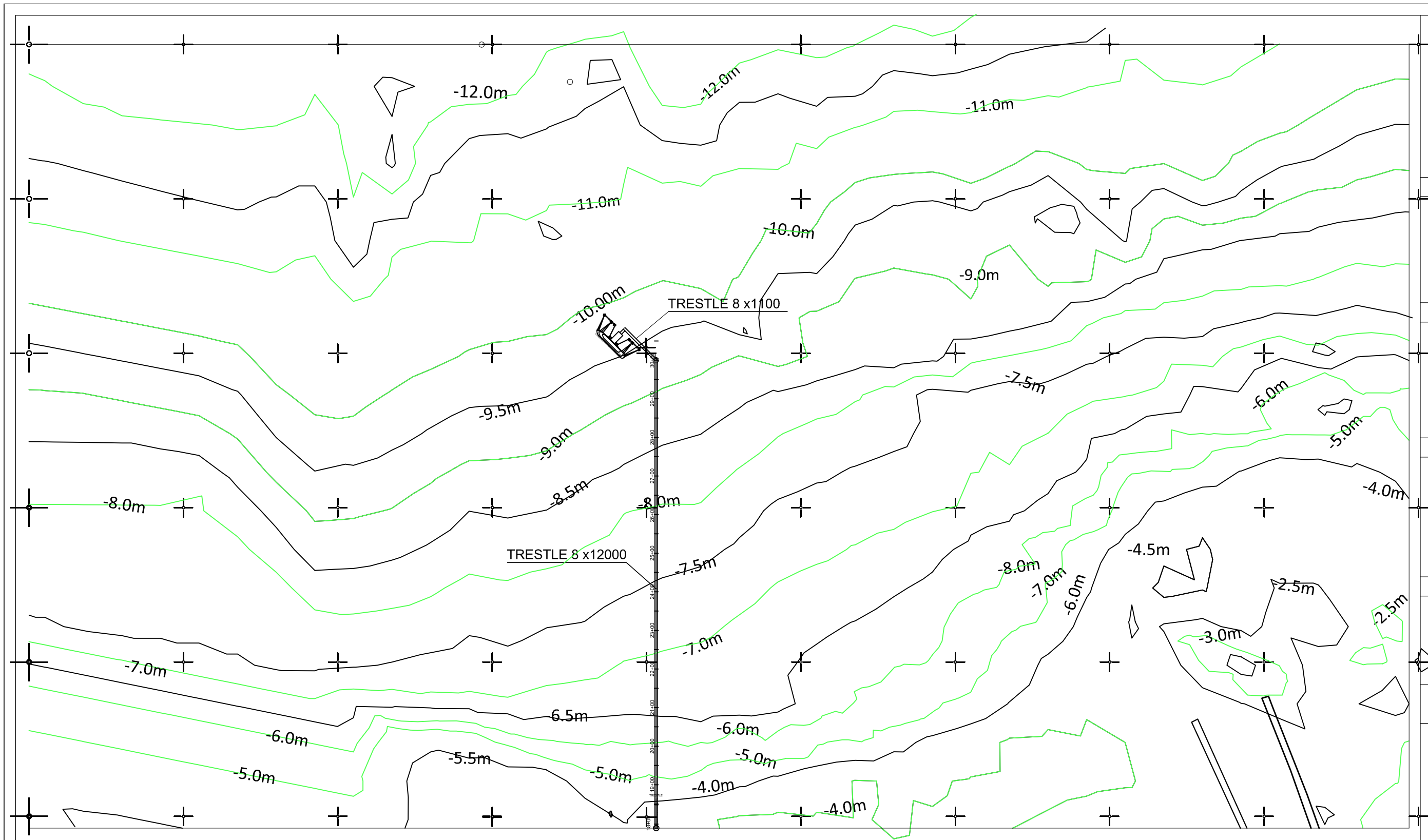
ARS

NO.
LEMBAR

1

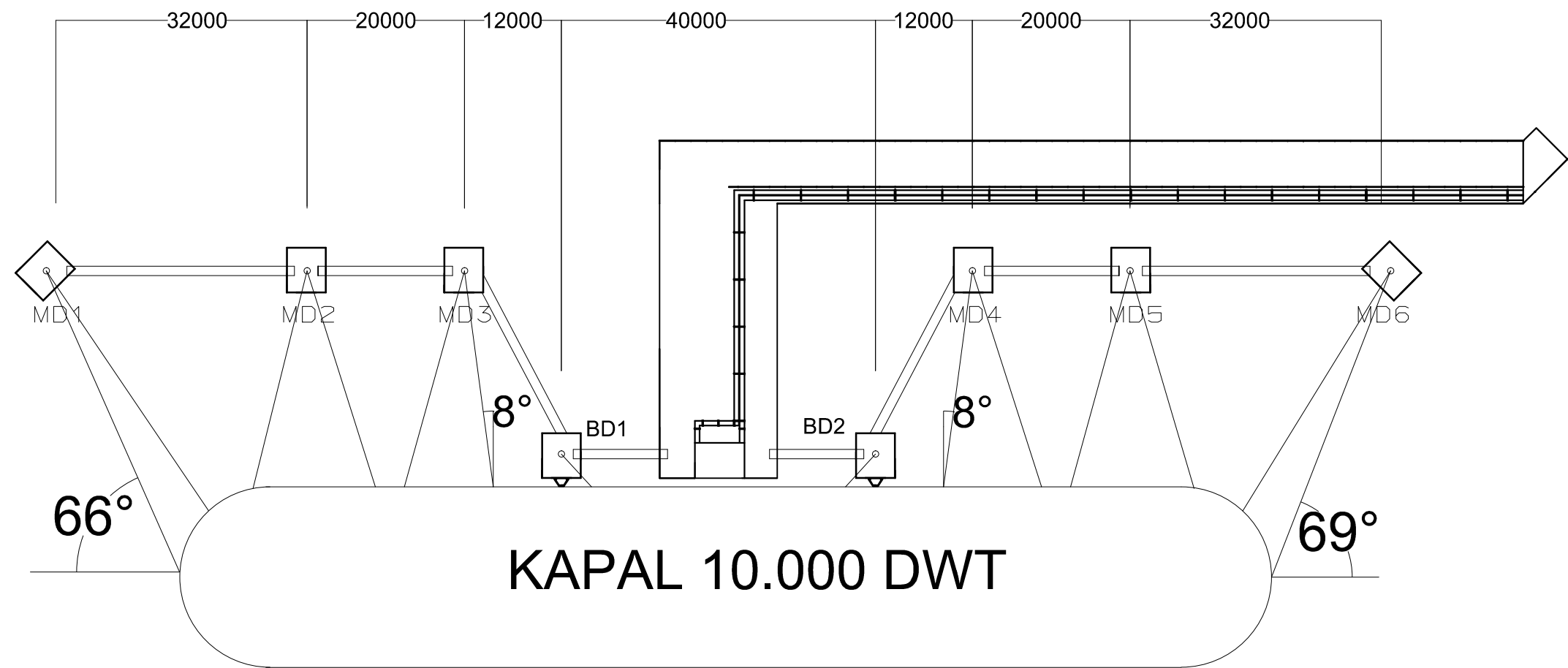
JUMLAH
GAMBAR

33



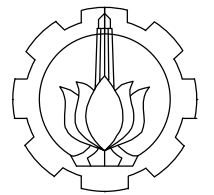
PETA BATHYMETRI DAN LAYOUT DERMAGA

SKALA 1:10000



LAYOUT DERMAGA

SKALA 1:700



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

LAYOUT DERMAGA
10.000 DWT

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:700

KODE
GAMBAR

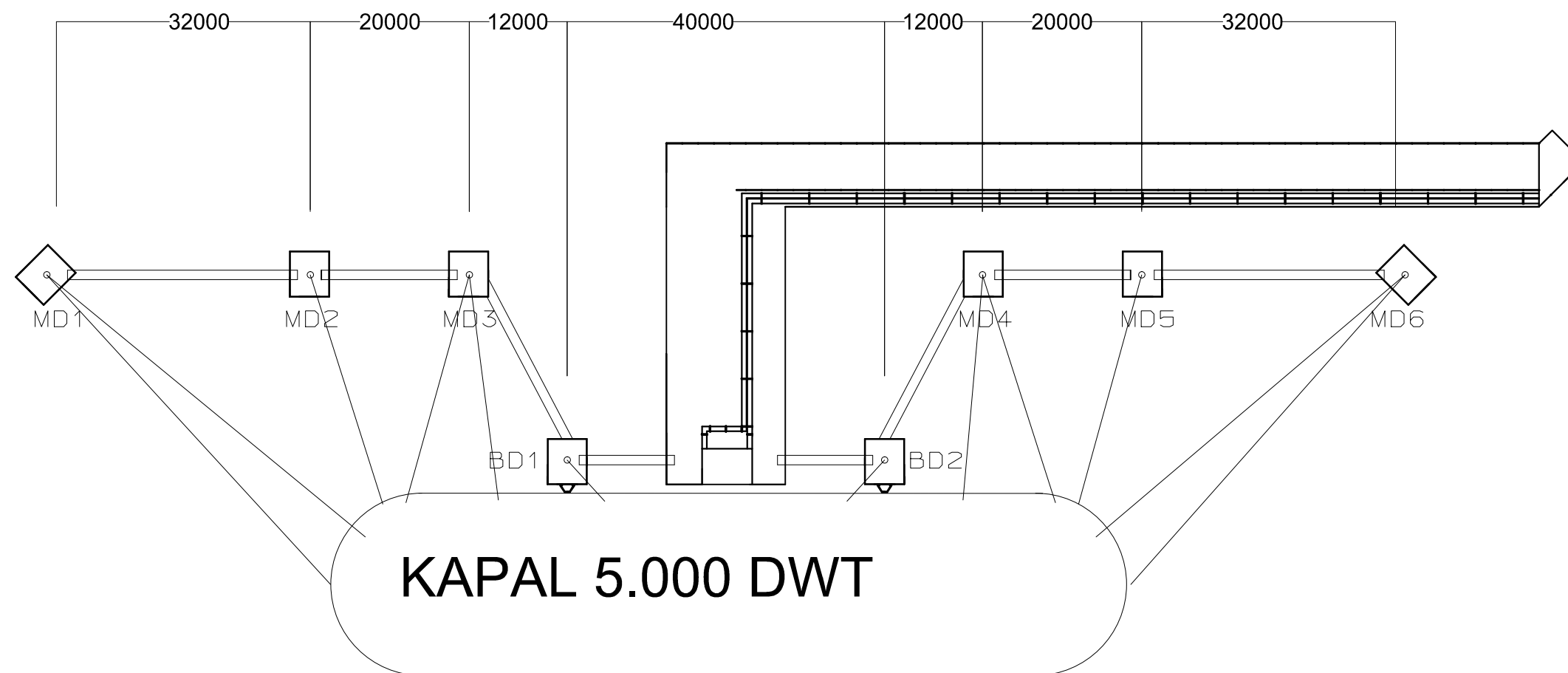
ARS

NO.
LEMBAR

2

JUMLAH
GAMBAR

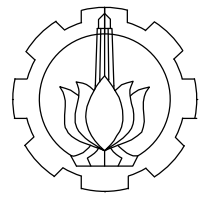
33



KAPAL 5.000 DWT

LAYOUT DERMAGA

SKALA 1:700



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

LAYOUT DERMAGA
KAPAL 5.000 DWT

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:700

KODE
GAMBAR

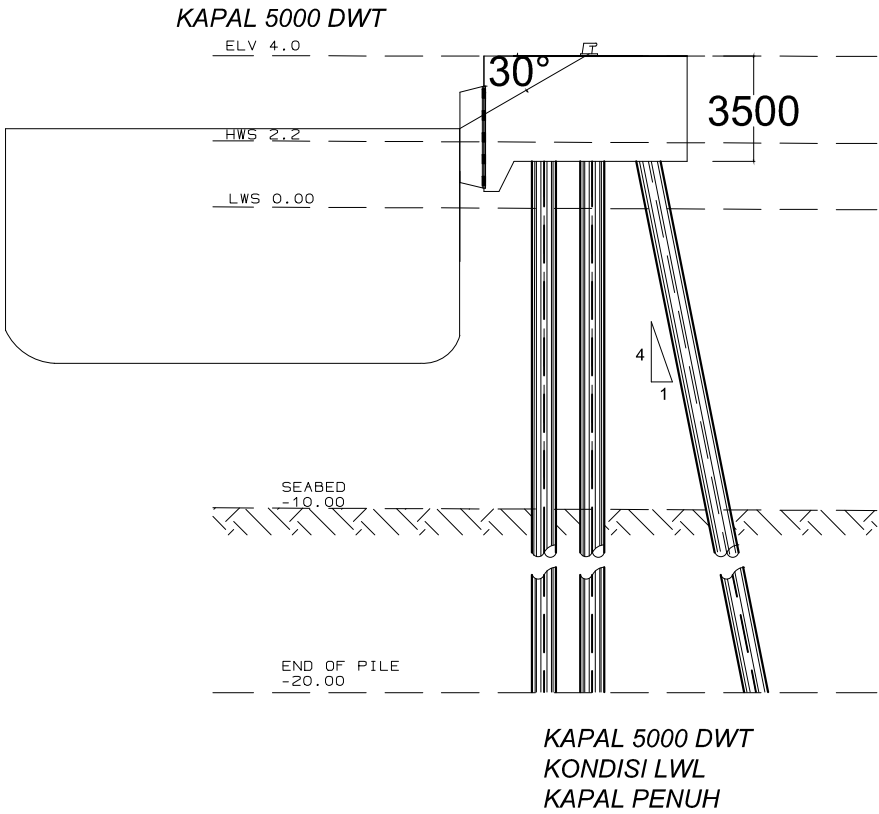
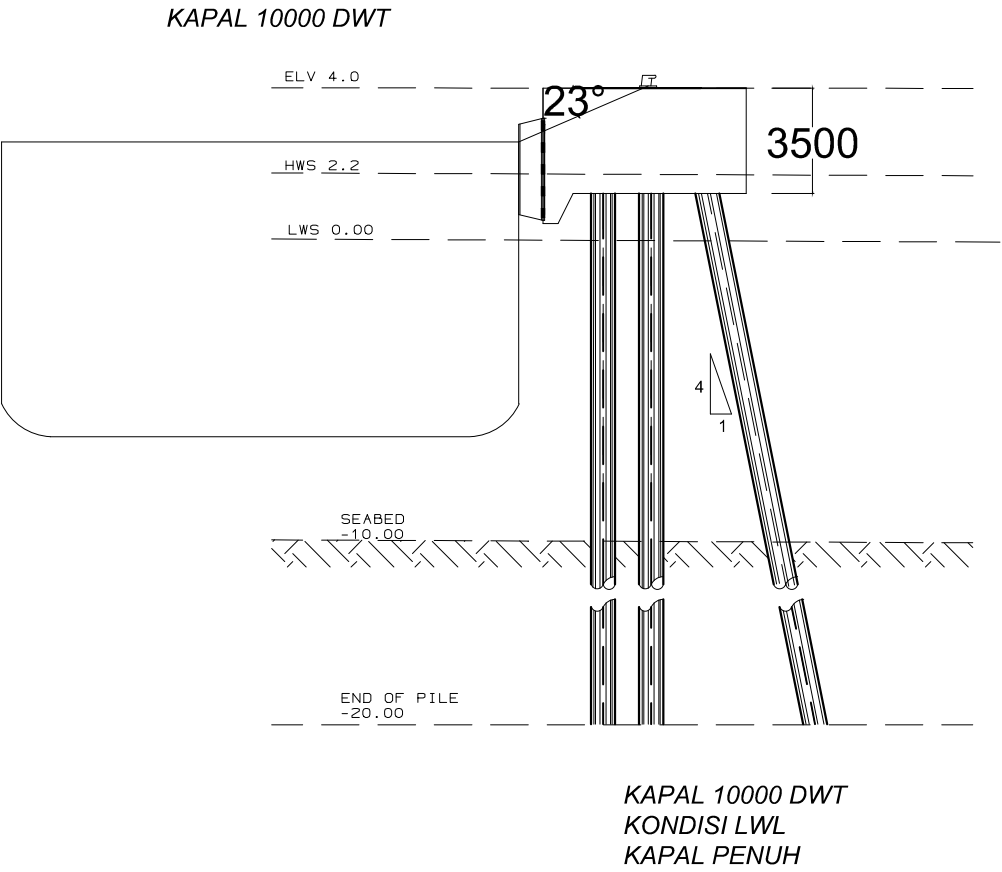
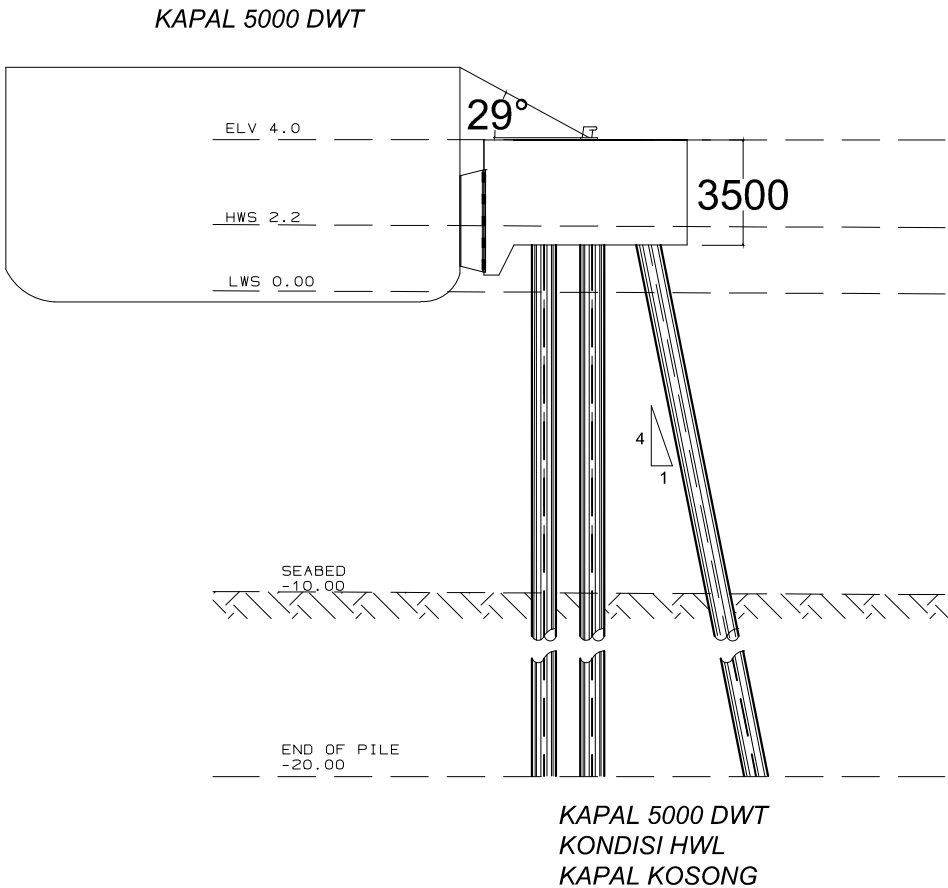
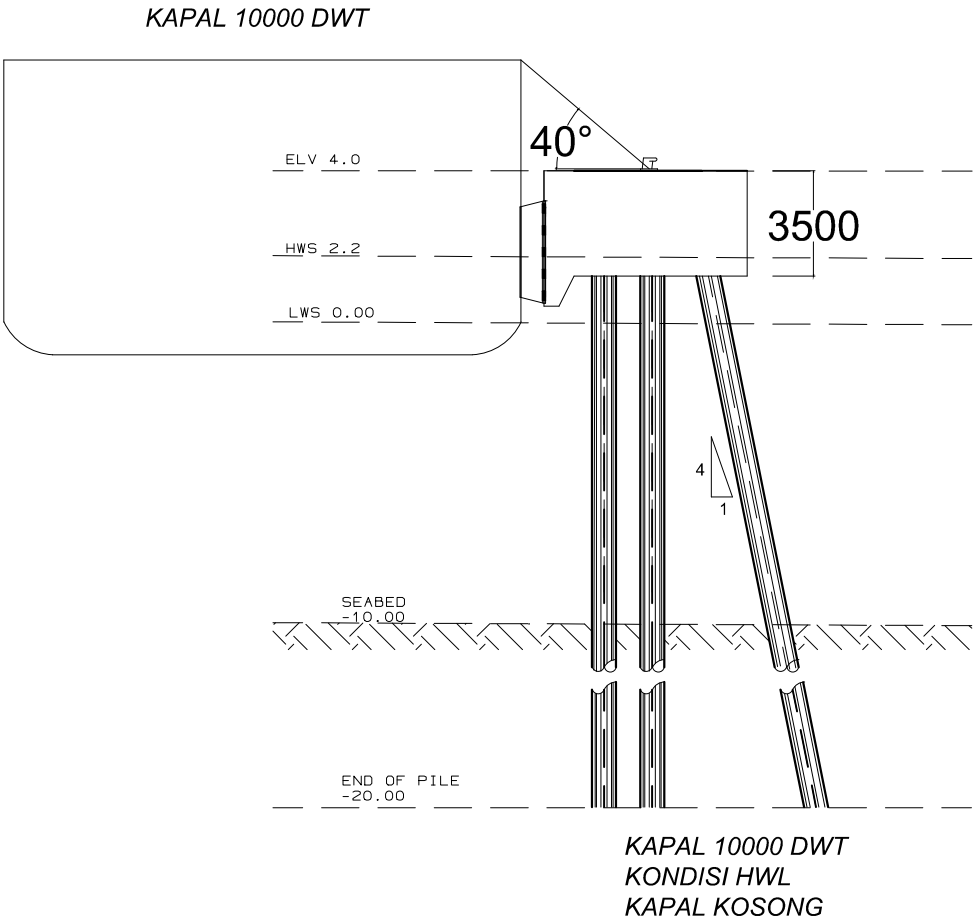
ARS

NO.
LEMBAR

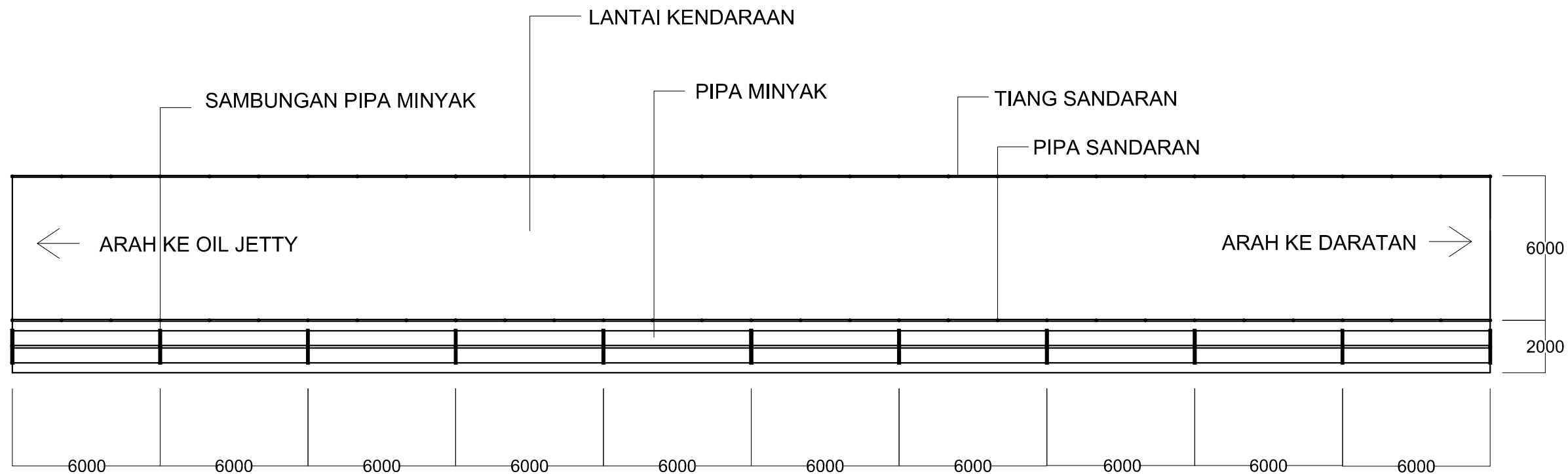
3

JUMLAH
GAMBAR

33

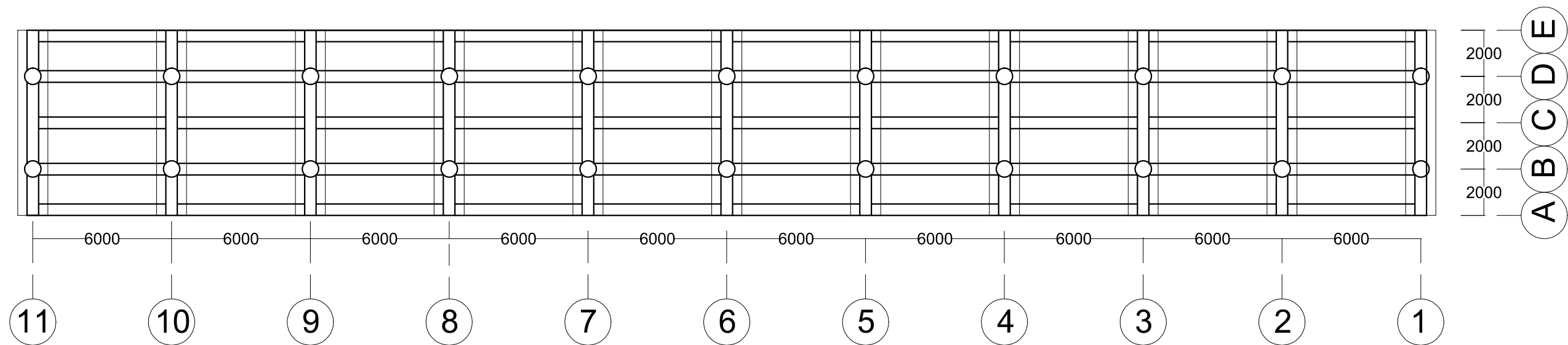


| | |
|---|------------------|
| | |
| INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER | |
| JUDUL TUGAS AKHIR | |
| MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR DERMAGA MINYAK BRONDONG LAMONGAN DENGAN KAPASITAS 10.000 DWT | |
| NAMA GAMBAR | |
| SIMULASI FENDER DAN BOLLARD | |
| MAHASISWA | |
| EDO YOGA PRASETYA 10111500000053 HILWA JAUDAH 10111500000099 | |
| DOSEN PEMBIMBING | |
| Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng 195711199 198503 1 001 | |
| KETERANGAN GAMBAR | |
| | |
| SKALA GAMBAR | |
| 1:250 | |
| KODE GAMBAR | |
| ARS | |
| NO. LEMBAR | JUMLAH GAMBAR |
| 4 | 33 |



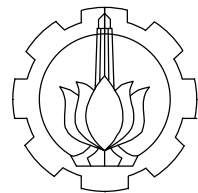
TAMPAK ATAS TRESTLE (As 1 s/d 11)

SKALA 1:200



DENAH TRESTLE (As 1 s/d 11)

SKALA 1:200



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

TAMPAK ATAS
TRESTLE
DENAH
TRESTLE

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:200

KODE
GAMBAR

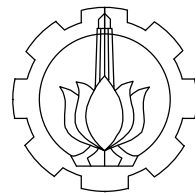
STR

NO.
LEMBAR

5

JUMLAH
GAMBAR

33



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

DENAH PELAT LANTAI
TRESTLE

DENAH BALOK
TRESTLE

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:200

KODE
GAMBAR

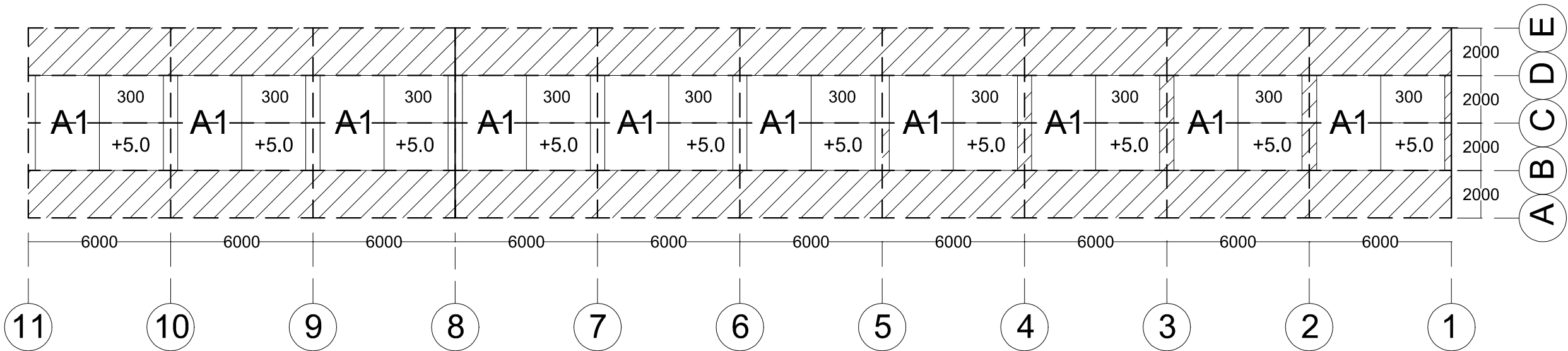
STR

NO.
LEMBAR

6

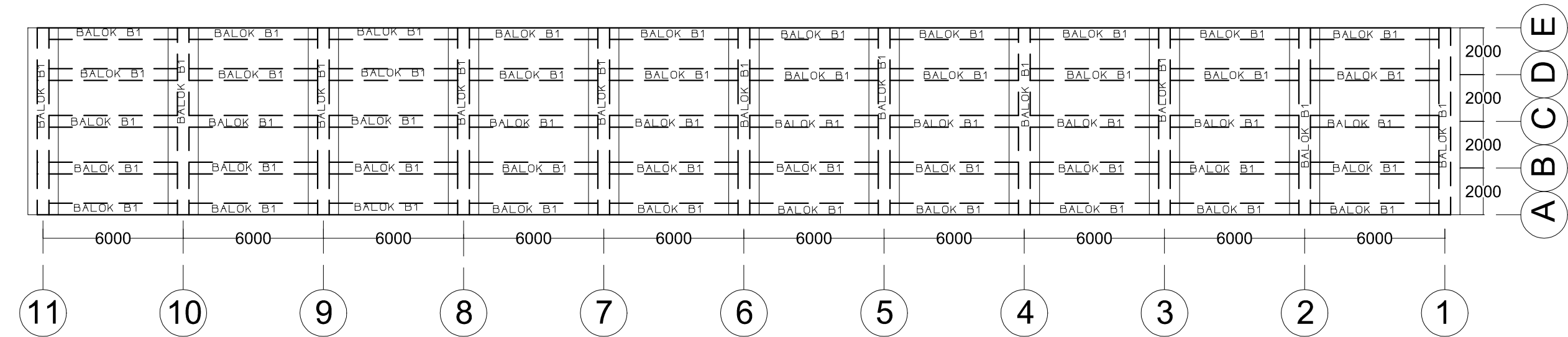
JUMLAH
GAMBAR

33



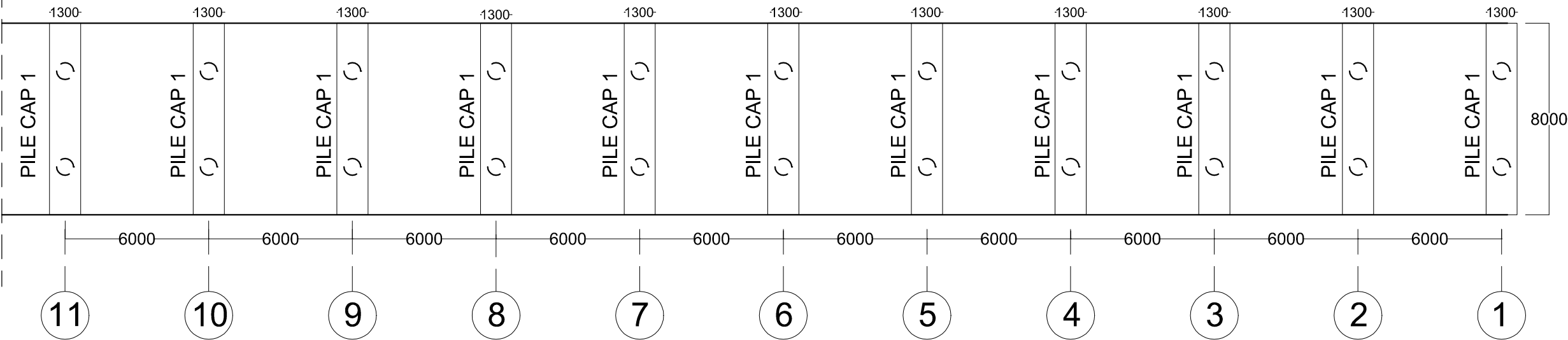
DENAH PELAT LANTAI TRESTLE (As 1 s/d 11)

SKALA 1:200



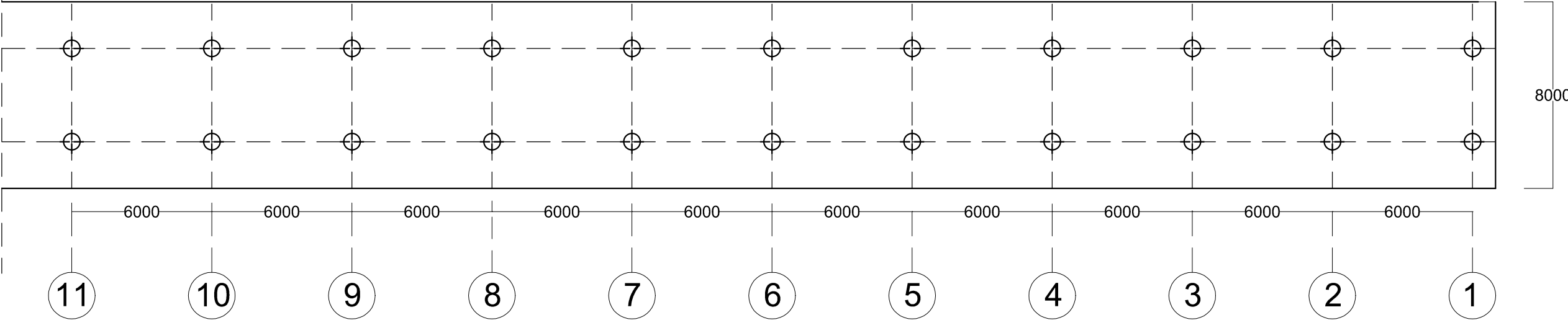
DENAH BALOK TRESTLE (As 1 s/d 11)

SKALA 1:200



DENAH PILE CAP TRESTLE (As 1 s/d 11)

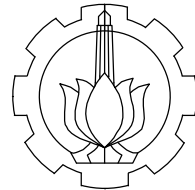
SKALA 1:200



DENAH TIANG PANCANG TRESTLE (As 1 s/d 11)

SKALA 1:200

| | |
|------------|------------|
| PILE TYPE | SPP 1 |
| GAMBAR | |
| DIAMETER | 812,8 mm |
| TEBAL | 16 mm |
| MUTU BAHAN | ASTM A 252 |
| TEGAK | 23 meter |
| JUMLAH | 436 buah |



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

DENAH PILE CAP
TRESTLE

DENAH TIANG
PANCANG TRESTLE

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:200

KODE
GAMBAR

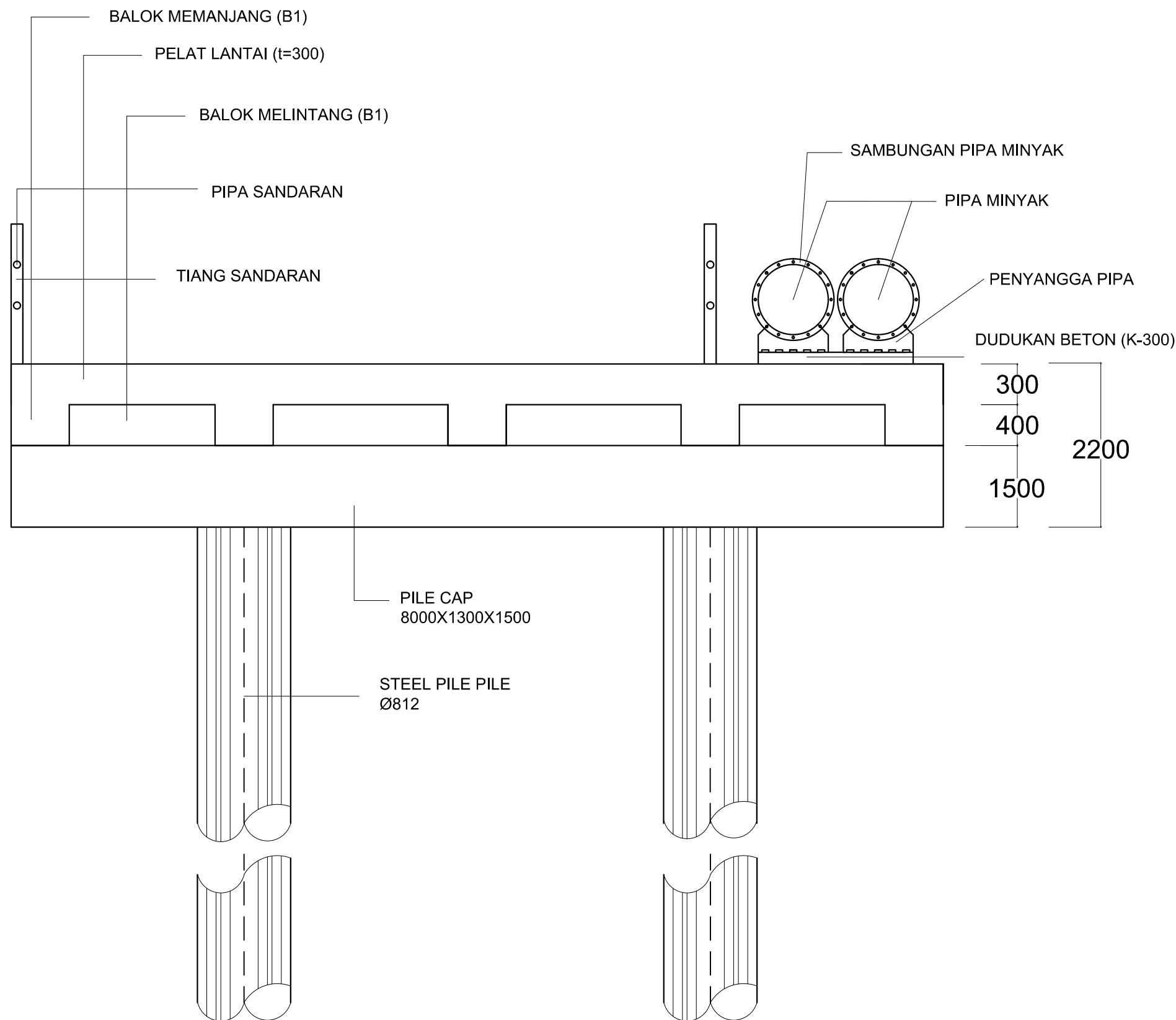
STR

NO.
LEMBAR

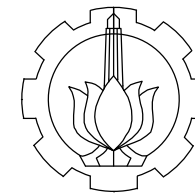
JUMLAH
GAMBAR

7

33



POTONGAN MELINTANG TRESTLE
SKALA 1:40



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

POTONGAN
MELINTANG TRESTLE

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:40

KODE
GAMBAR

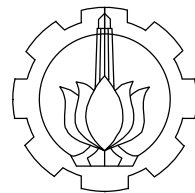
STR

NO.
LEMBAR

8

JUMLAH
GAMBAR

33



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

POTONGAN
MEMANJANG TRESTLE

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:200

KODE
GAMBAR

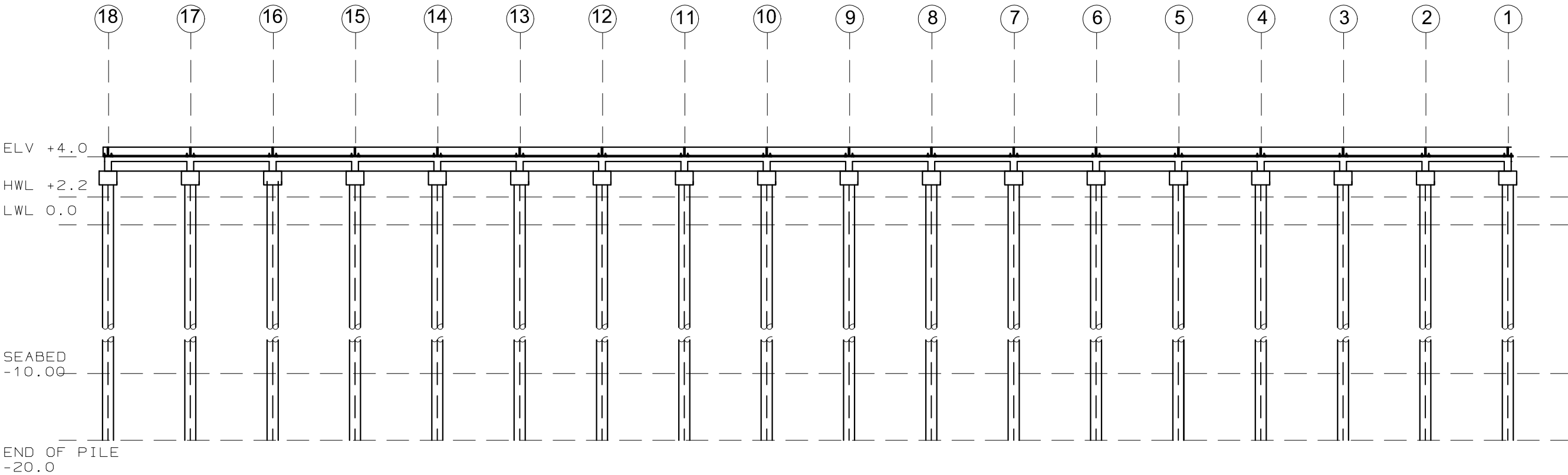
STR

NO.
LEMBAR

JUMLAH
GAMBAR

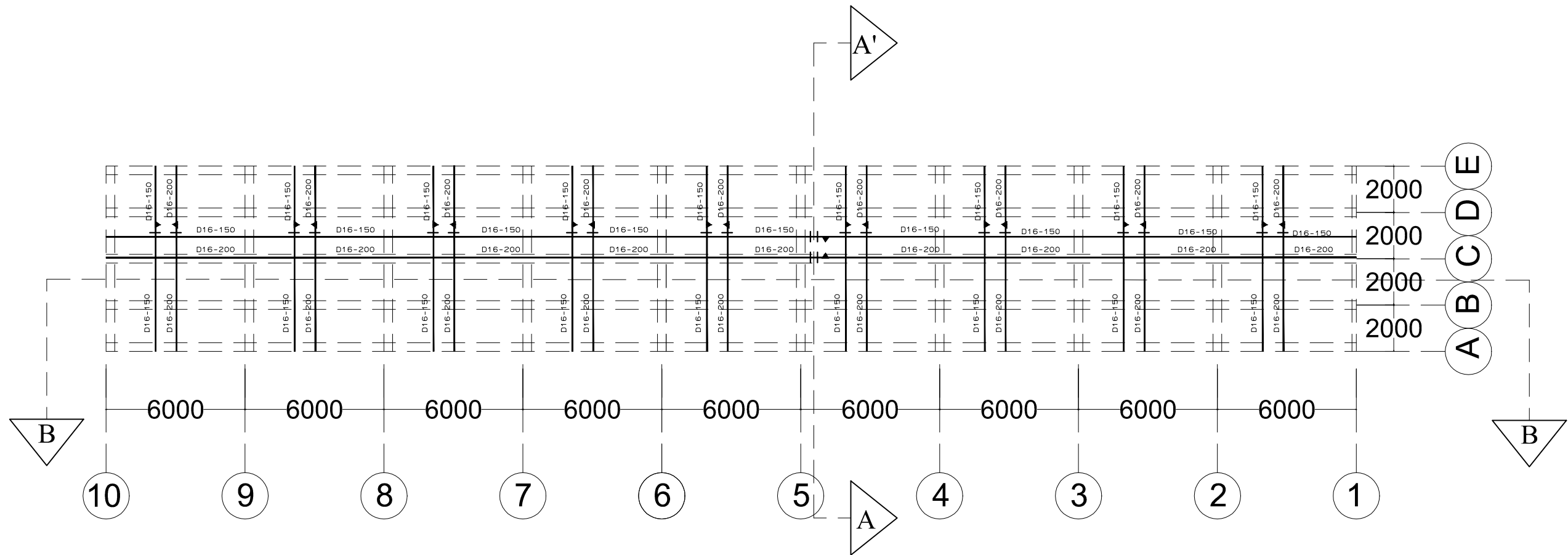
9

33



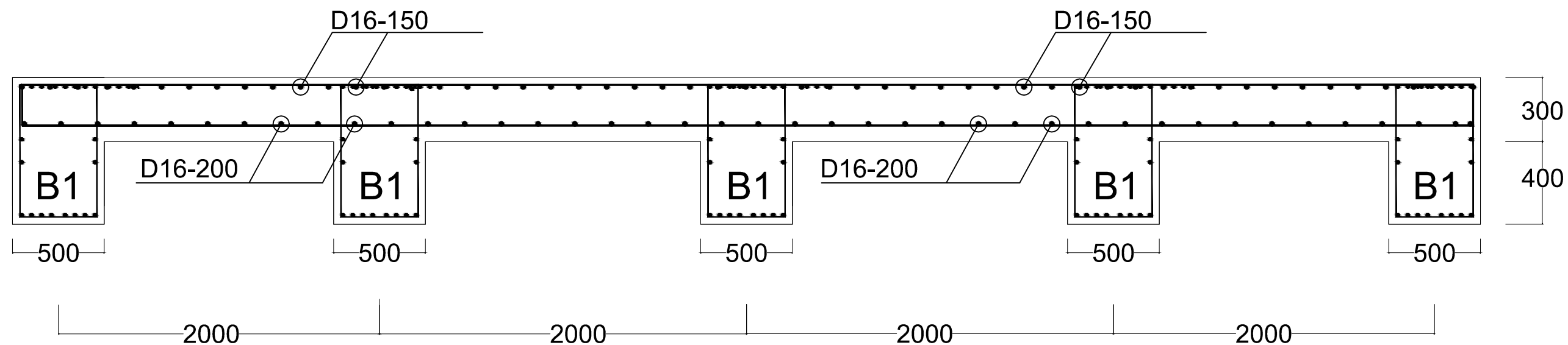
POTONGAN MEMANJANG TRESTLE

SKALA 1:200



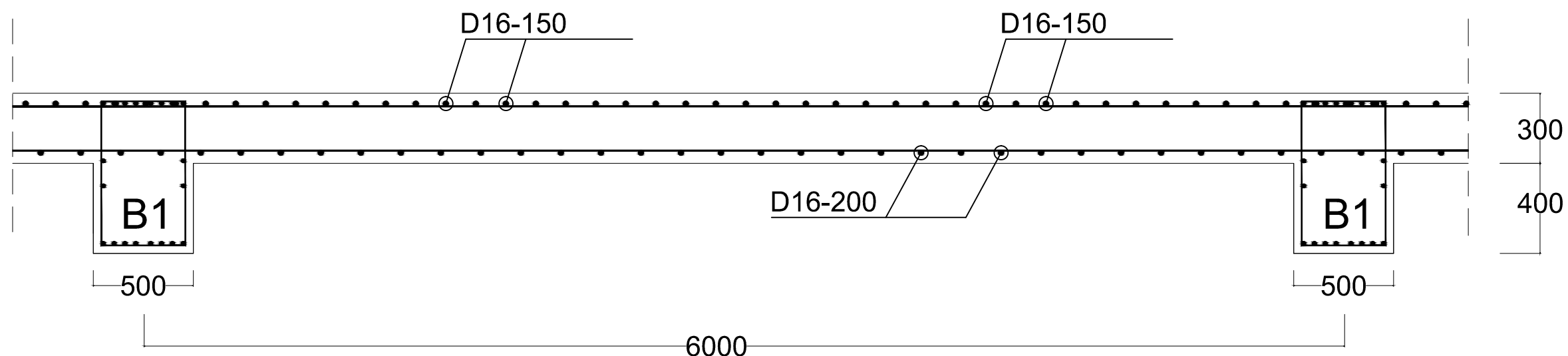
PENULANGAN PELAT LANTAI TRESTLE
SKALA 1:200

| | |
|--|------------------|
| <div></div> <div>INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER</div> | |
| JUDUL TUGAS AKHIR | |
| MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR DERMAGA MINYAK BRONDONG LAMONGAN DENGAN KAPASITAS 10.000 DWT | |
| NAMA GAMBAR | |
| PENULANGAN PELAT LANTAI TRESTLE | |
| MAHASISWA | |
| <div><div>EDO YOGA PRASETYA</div><div>10111500000053</div></div> <div><div>HILWA JAUDAH</div><div>10111500000099</div></div> | |
| DOSEN PEMBIMBING | |
| Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng 195711199 198503 1 001 | |
| KETERANGAN GAMBAR | |
| | |
| SKALA GAMBAR | |
| 1:200 | |
| KODE GAMBAR | |
| STR | |
| NO. LEMBAR | JUMLAH GAMBAR |
| 10 | 33 |



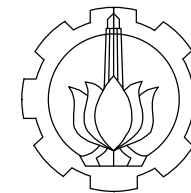
POTONGAN A-A'
PENULANGAN PELAT LANTAI TRESTLE

SKALA 1:25



POTONGAN B-B'
PENULANGAN PELAT LANTAI TRESTLE

SKALA 1:25



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

POTONGAN A-A'
PENULANGAN PELAT
TRESTLE

POTONGAN B-B'
PENULANGAN PELAT
TRESTLE

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
1011150000053

HILWA JAUDAH
1011150000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:25

KODE
GAMBAR

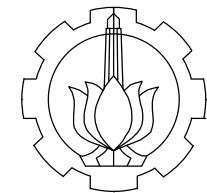
STR

NO.
LEMBAR

11

JUMLAH
GAMBAR

33



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

PENULANGAN BALOK
MEMANJANG TRESTLE

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:25

KODE
GAMBAR

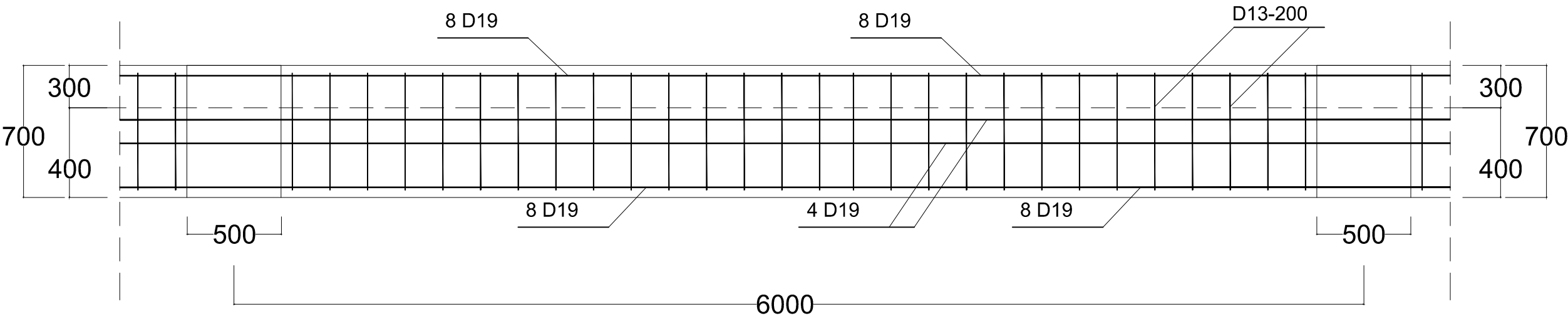
STR

NO.
LEMBAR

12

JUMLAH
GAMBAR

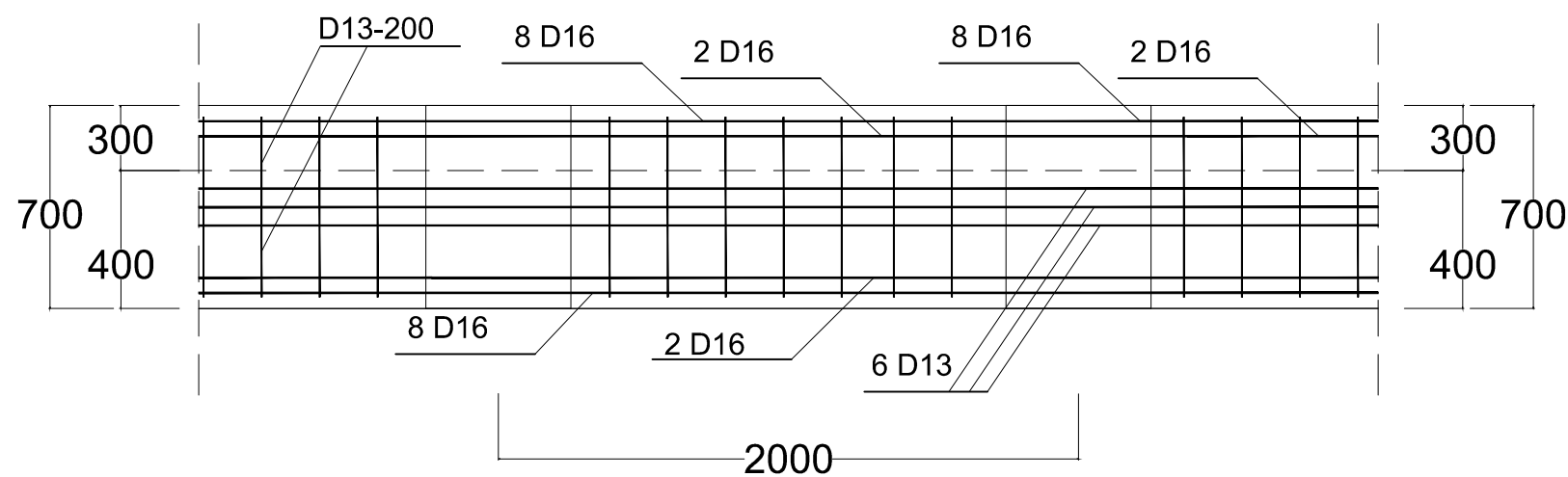
33



PENULANGAN BALOK MEMANJANG TRESTLE

SKALA 1:25

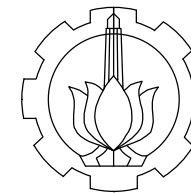
| BEAM TYPE | B1 | |
|--------------|-----------|-----------|
| | TUMPUAN | LAPANGAN |
| GAMBAR | | |
| DIMENSI | 500 x 700 | 500 x 700 |
| T.ATAS | 8 D19 | 8 D19 |
| T.BADAN | 4 x D13 | 4 x D13 |
| T.TARIK | 8 D19 | 8 D19 |
| T.GESER | D13-200 | D13-200 |



PENULANGAN BALOK MELINTANG TRESTLE

SKALA 1:25

| BEAM TYPE | B1 | B1 |
|--------------|-----------|-----------|
| | TUMPUAN | LAPANGAN |
| GAMBAR | | |
| DIMENSI | 500 x 700 | 500 x 700 |
| T.ATAS | 10 D16 | 10 D16 |
| T.BADAN | 6 x D13 | 6 x D13 |
| T.TARIK | 10 D16 | 10 D16 |
| T.GESER | D13-200 | D13-200 |



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

PENULANGAN BALOK
MELINTANG TRESTLE

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:25

KODE
GAMBAR

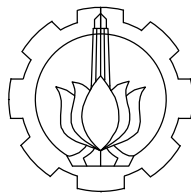
STR

NO.
LEMBAR

13

JUMLAH
GAMBAR

33



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

PENULANGAN PILE
CAP TRESTLE

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:50

KODE
GAMBAR

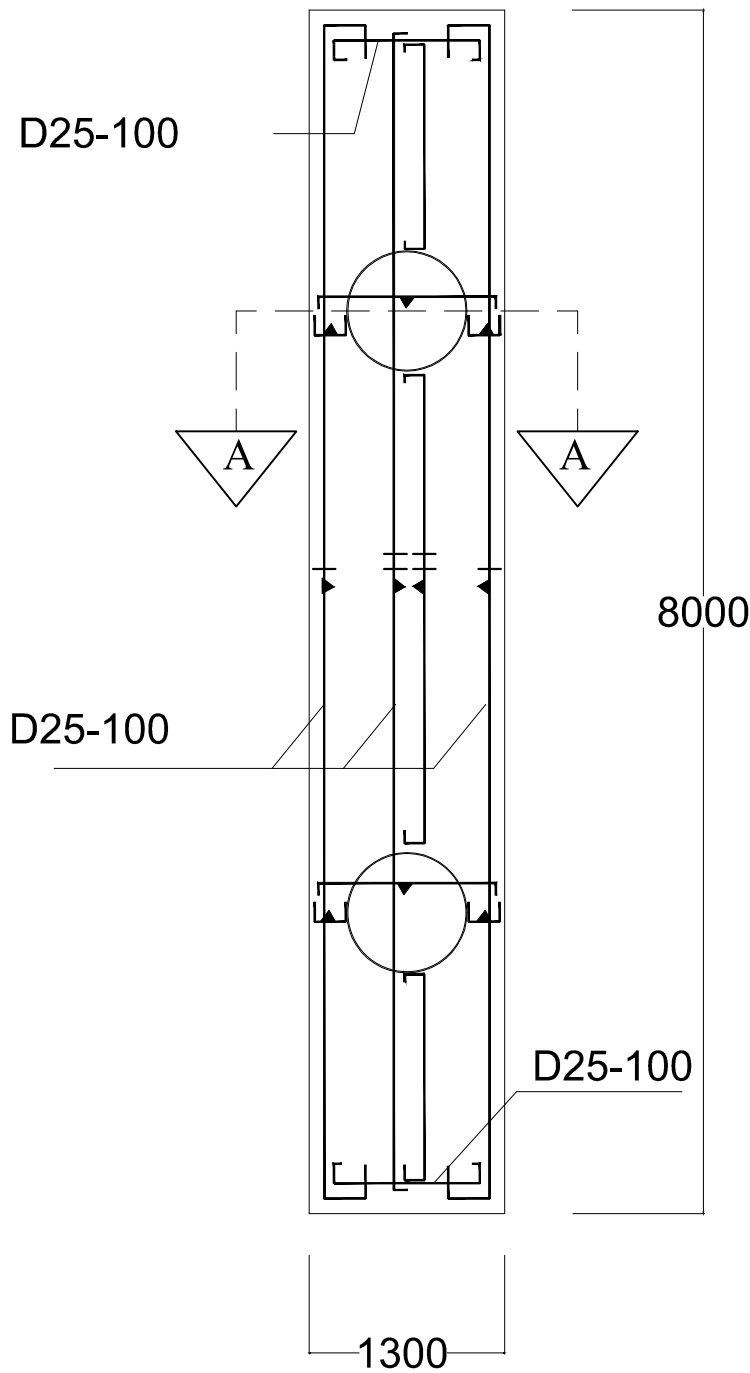
STR

NO.
LEMBAR

JUMLAH
GAMBAR

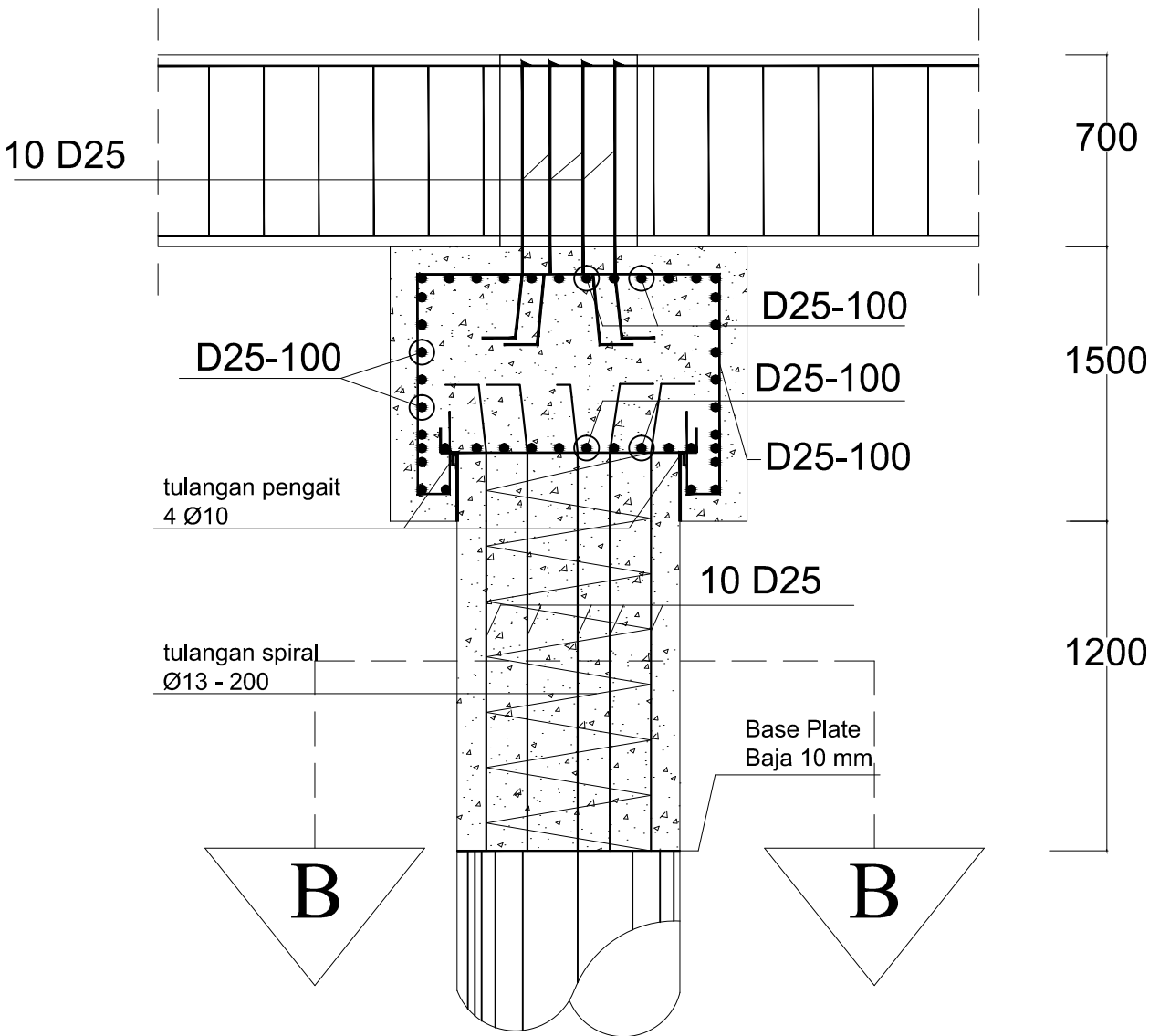
14

33



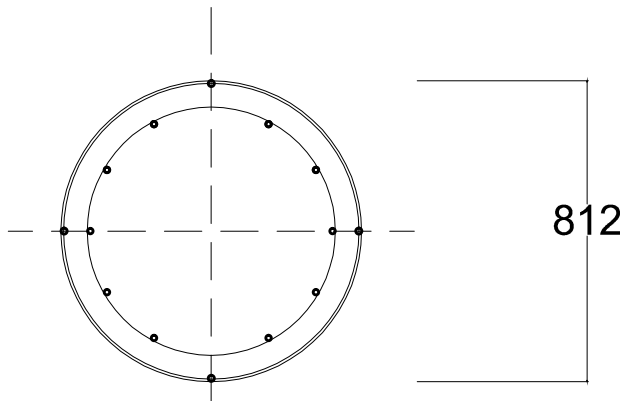
**PENULANGAN PILE CAP
TRESTLE (PC1)**

SKALA 1:50



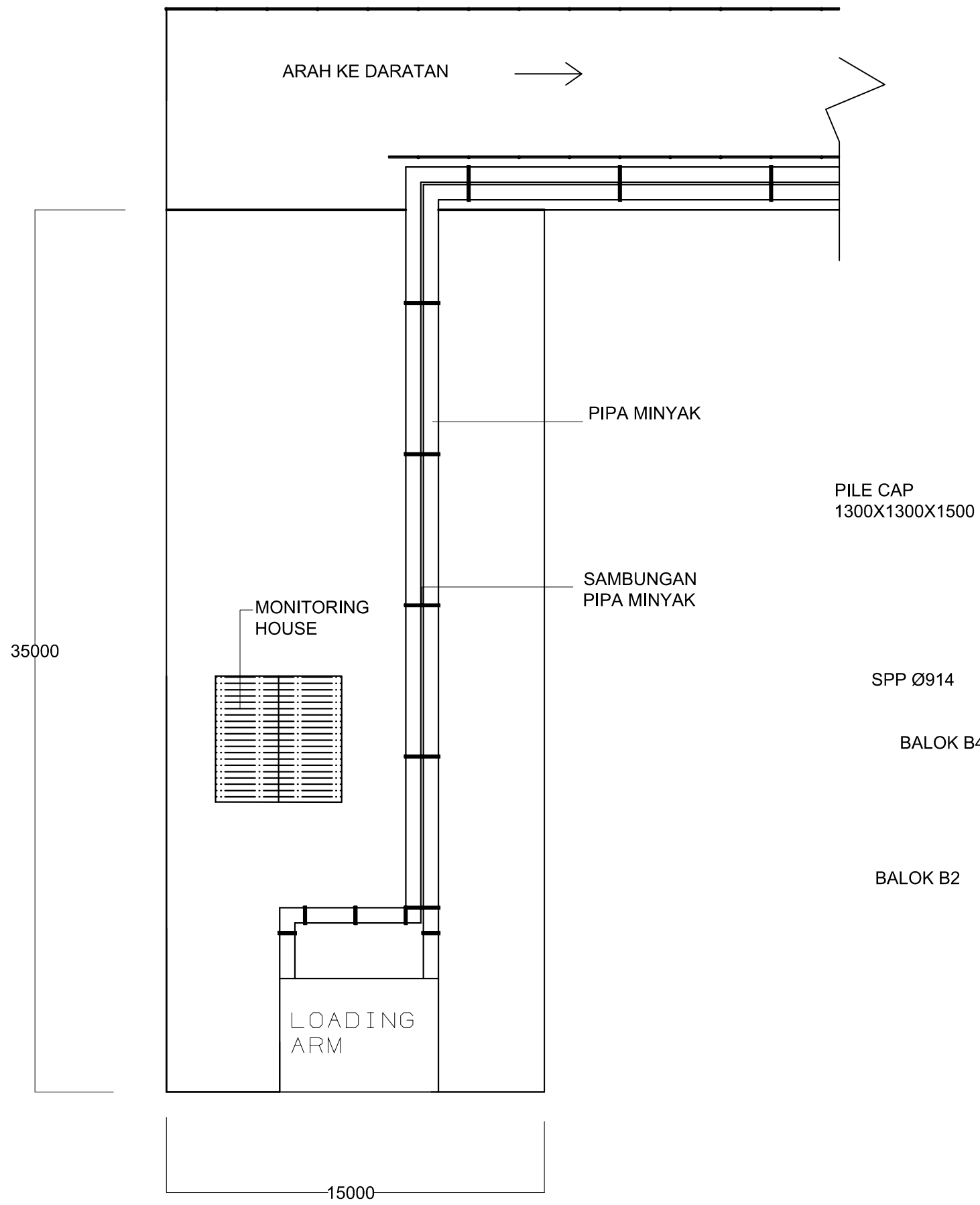
POTONGAN A-A PC 1 TRESTLE

SKALA 1:50

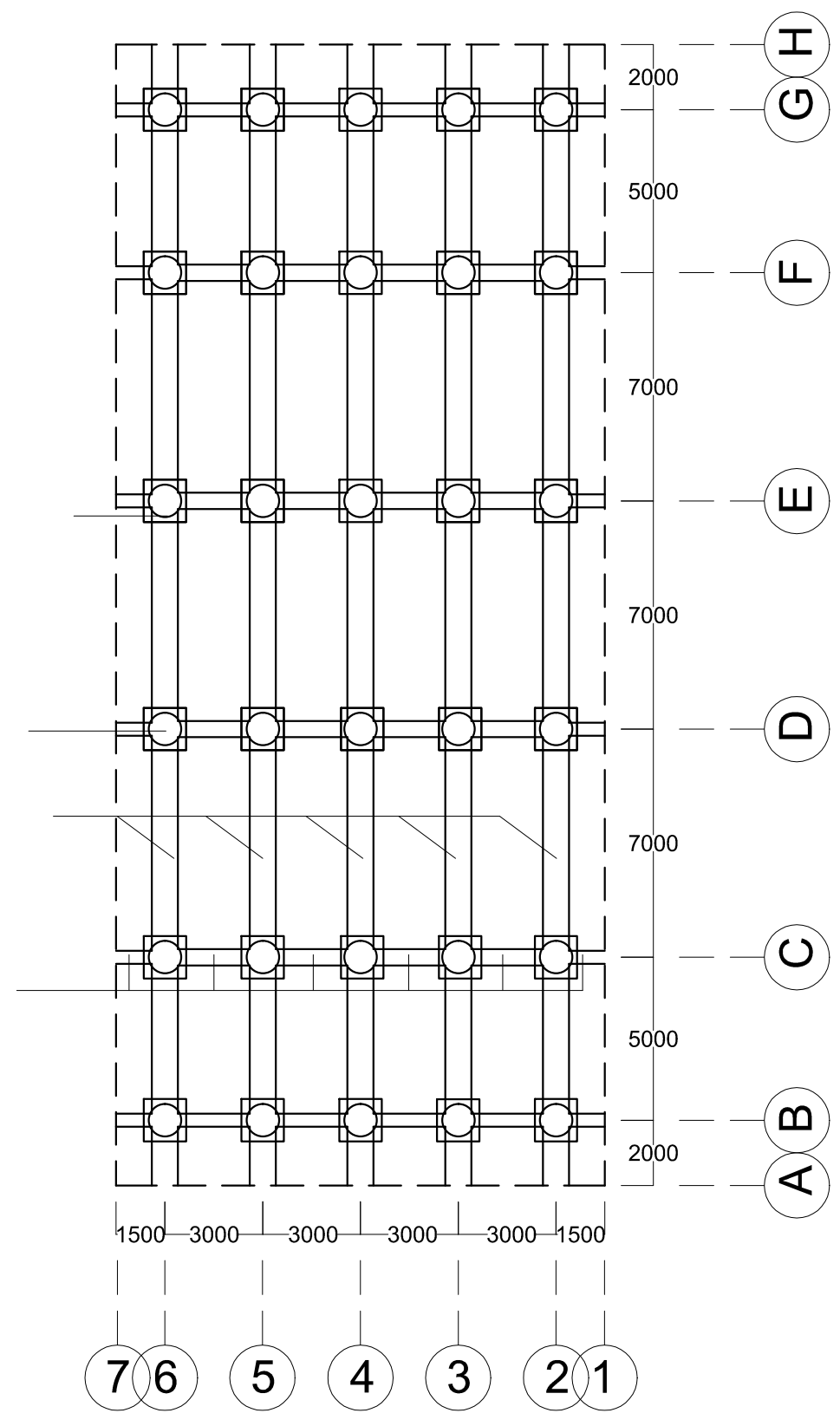


**POTONGAN B-B
PC 1 TRESTLE**

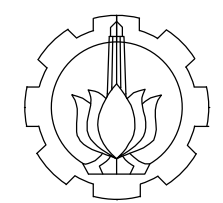
SKALA 1:20



TAMPAK ATAS PLATFROM
SKALA 1:200



DENAH PLATFORM
SKALA 1:200



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

TAMPAK ATAS
PLATFORM
DENAH PLATFORM

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

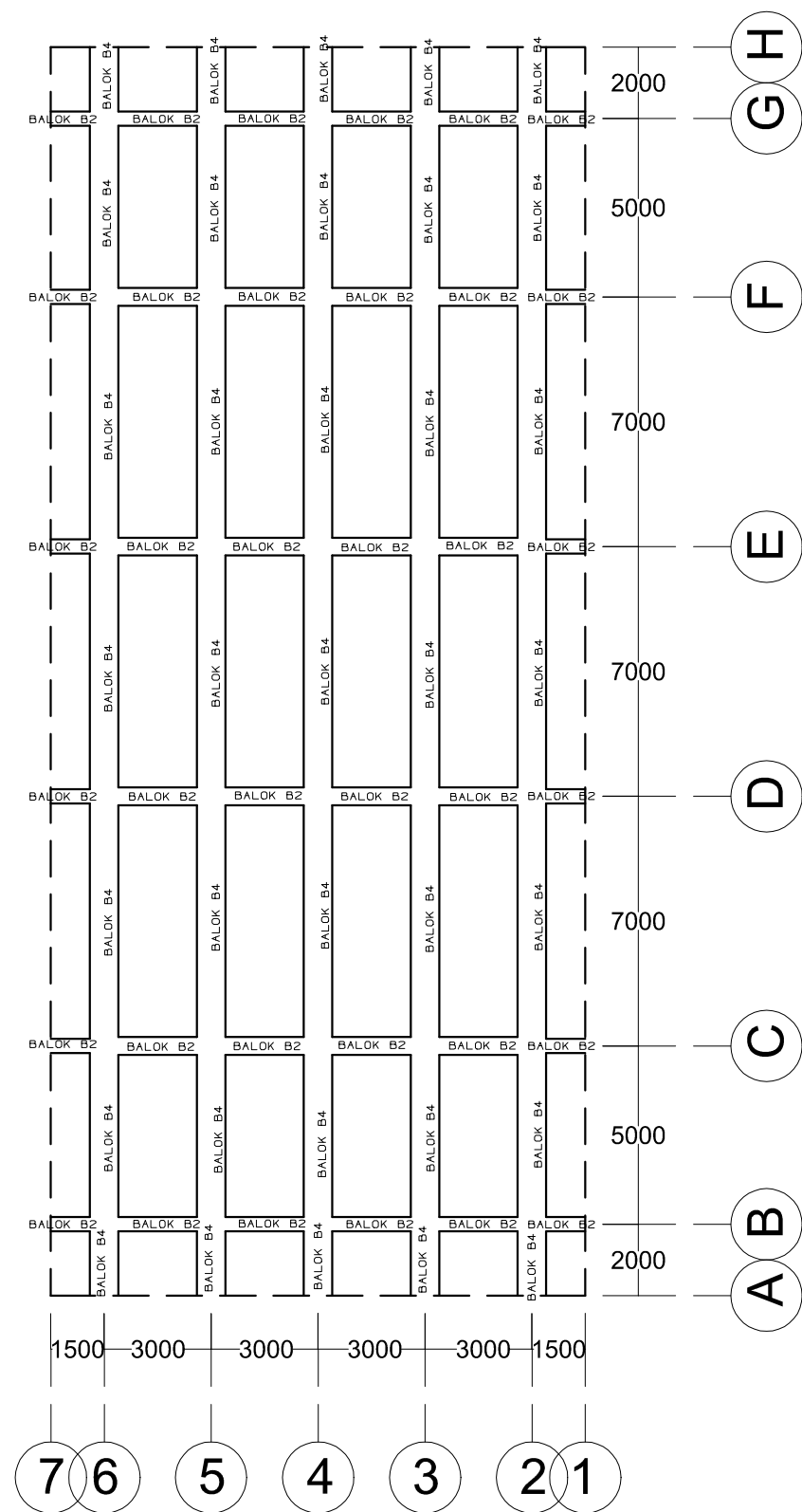
1:200

KODE
GAMBAR

STR

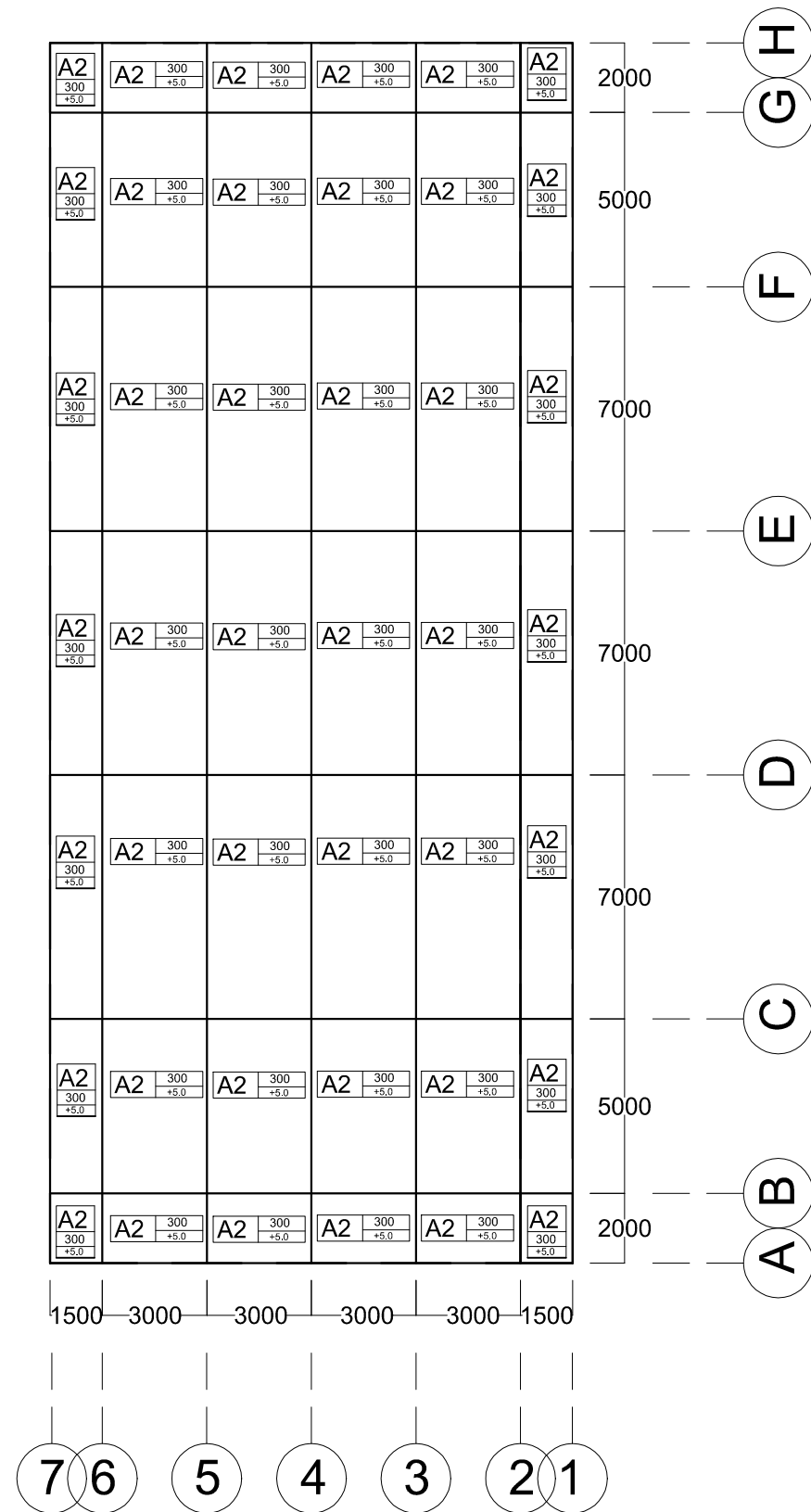
| NO. LEMBAR | JUMLAH GAMBAR |
|---------------|------------------|
|---------------|------------------|

| | |
|----|----|
| 15 | 33 |
|----|----|



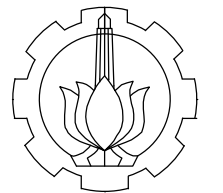
DENAH BALOK PLATFORM

SKALA 1:200



DENAH PELAT LANTAI PLATFORM

SKALA 1:200



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

DENAH PELAT LANTAI
PLATFORM

DENAH BALOK
PLATFORM

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:200

KODE
GAMBAR

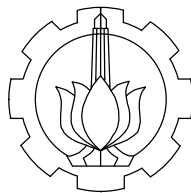
STR

NO.
LEMBAR

16

JUMLAH
GAMBAR

33



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

DENAH PILE CAP
PLATFORM

DENAH PILE
PLATFORM

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:200

KODE
GAMBAR

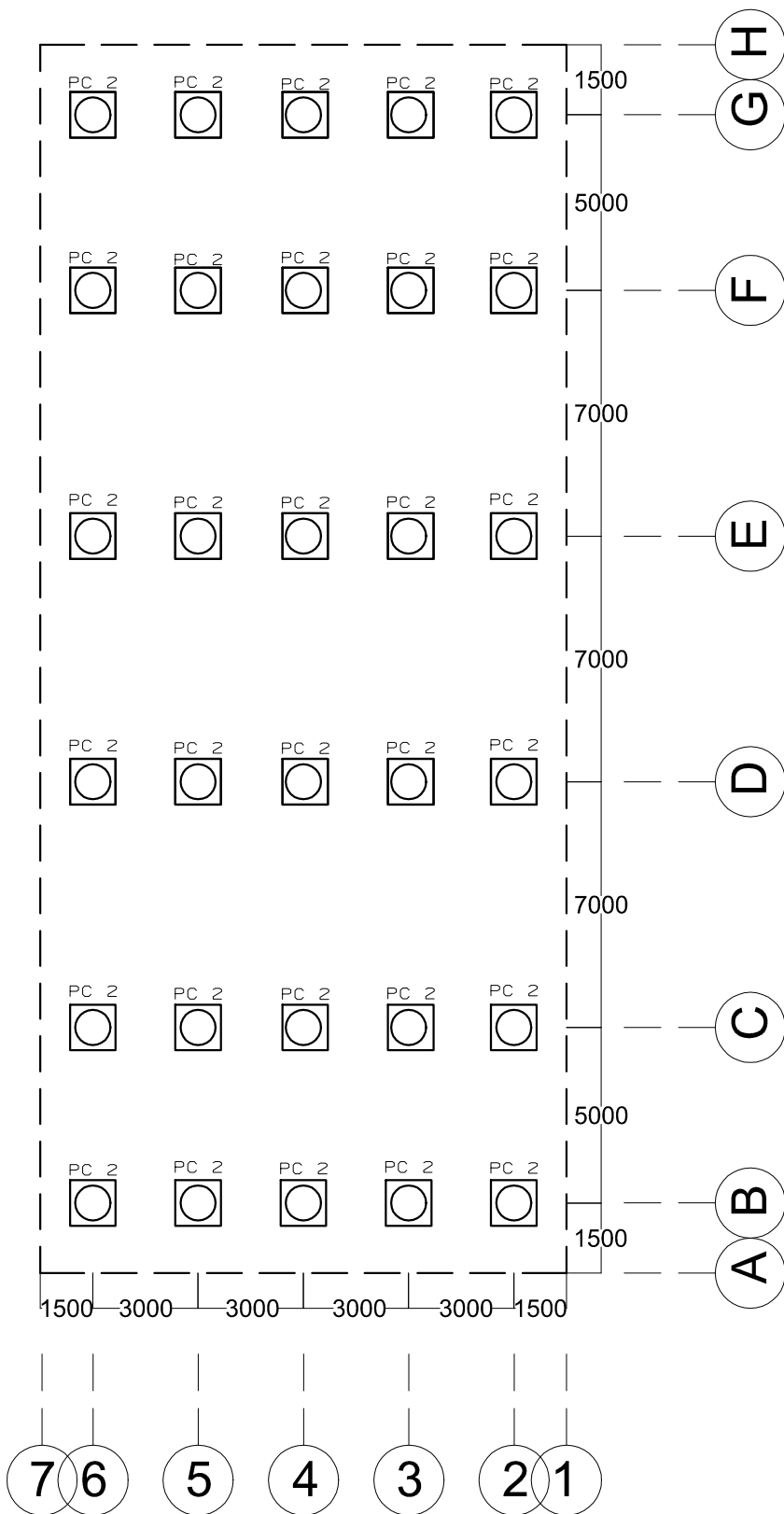
STR

NO.
LEMBAR

17

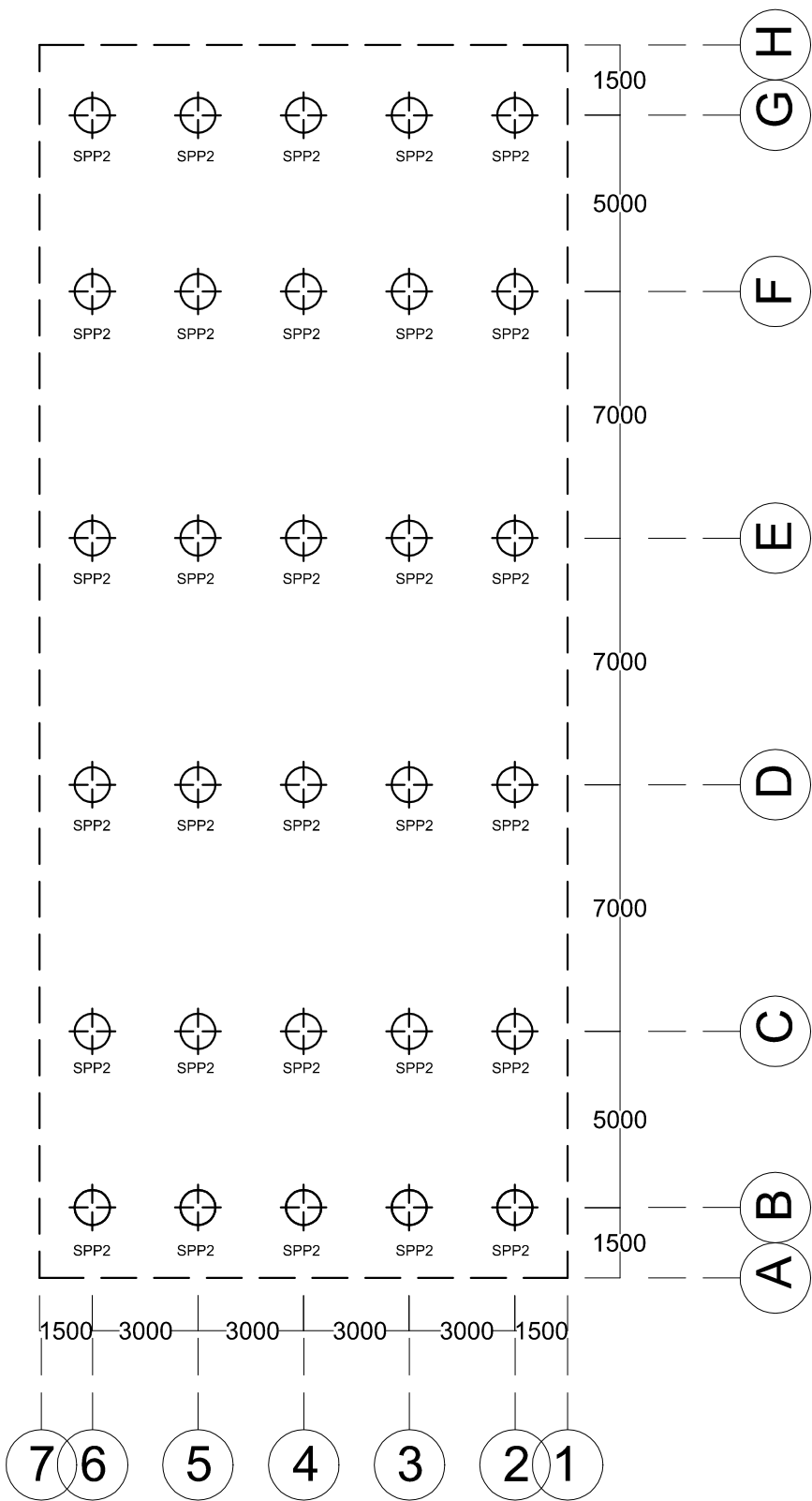
JUMLAH
GAMBAR

33



DENAH PILE CAP PLATFORM

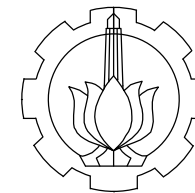
SKALA 1:200



DENAH PILE PLATFORM

SKALA 1:200

| PILE TYPE | SPP 2 |
|------------|------------|
| GAMBAR | |
| DIAMETER | 914 mm |
| TEBAL | 16 mm |
| MUTU BAHAN | ASTM A 252 |
| TEGAK | 22 meter |
| JUMLAH | 30 buah |



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

POTONGAN
MEMANJANG
PLATFORM

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:200

KODE
GAMBAR

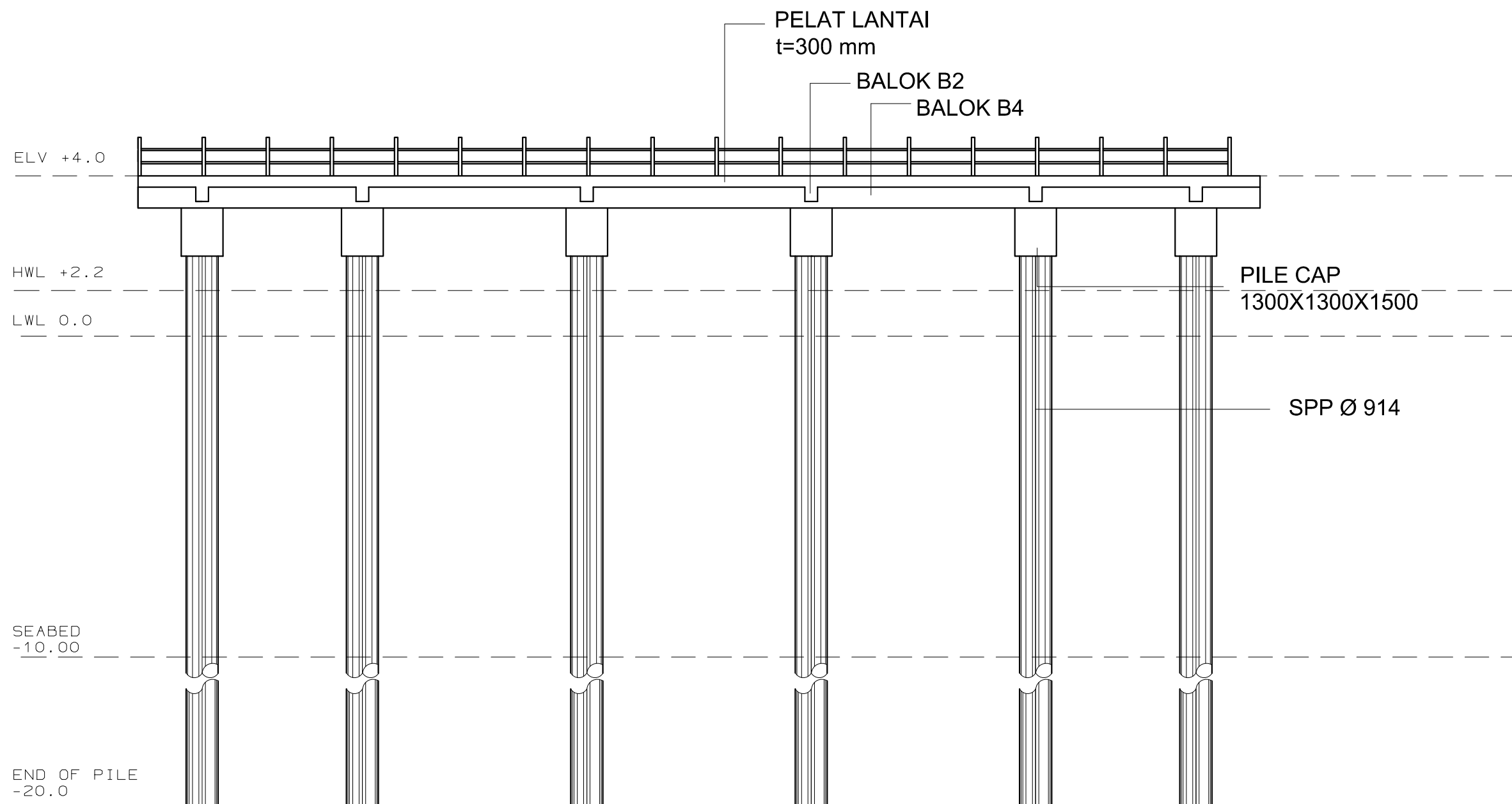
STR

NO.
LEMBAR

18

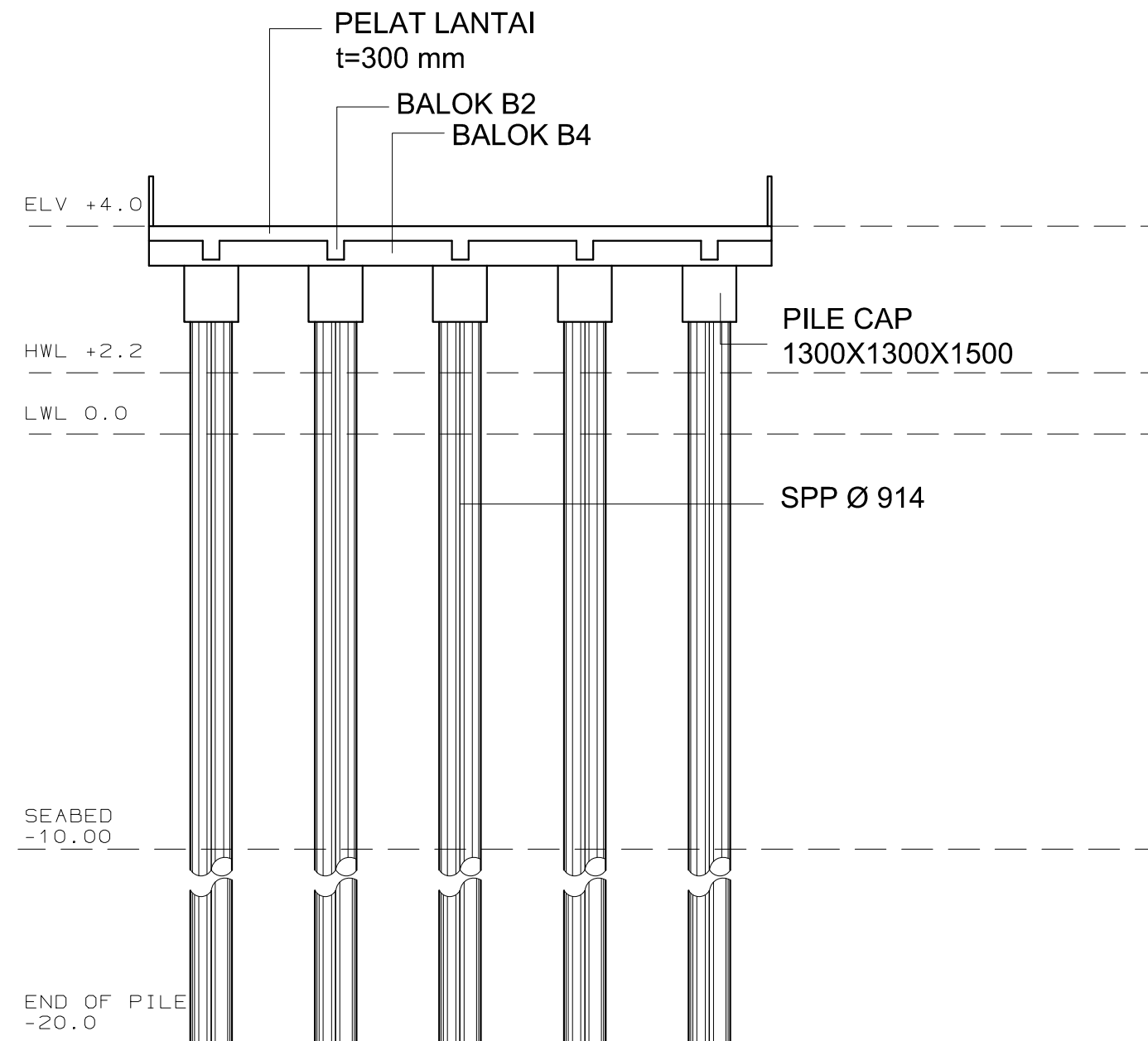
JUMLAH
GAMBAR

33

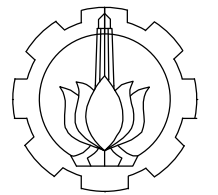


POTONGAN MELINTANG PLATFORM

SKALA 1:200



POTONGAN MELINTANG
SKALA 1:200



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

POTONGAN
MELINTANG
PLATFORM

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:200

KODE
GAMBAR

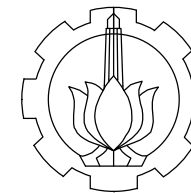
STR

NO.
LEMBAR

19

JUMLAH
GAMBAR

33



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

PENULANGAN PELAT
LANTAI PLATFORM

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:200

KODE
GAMBAR

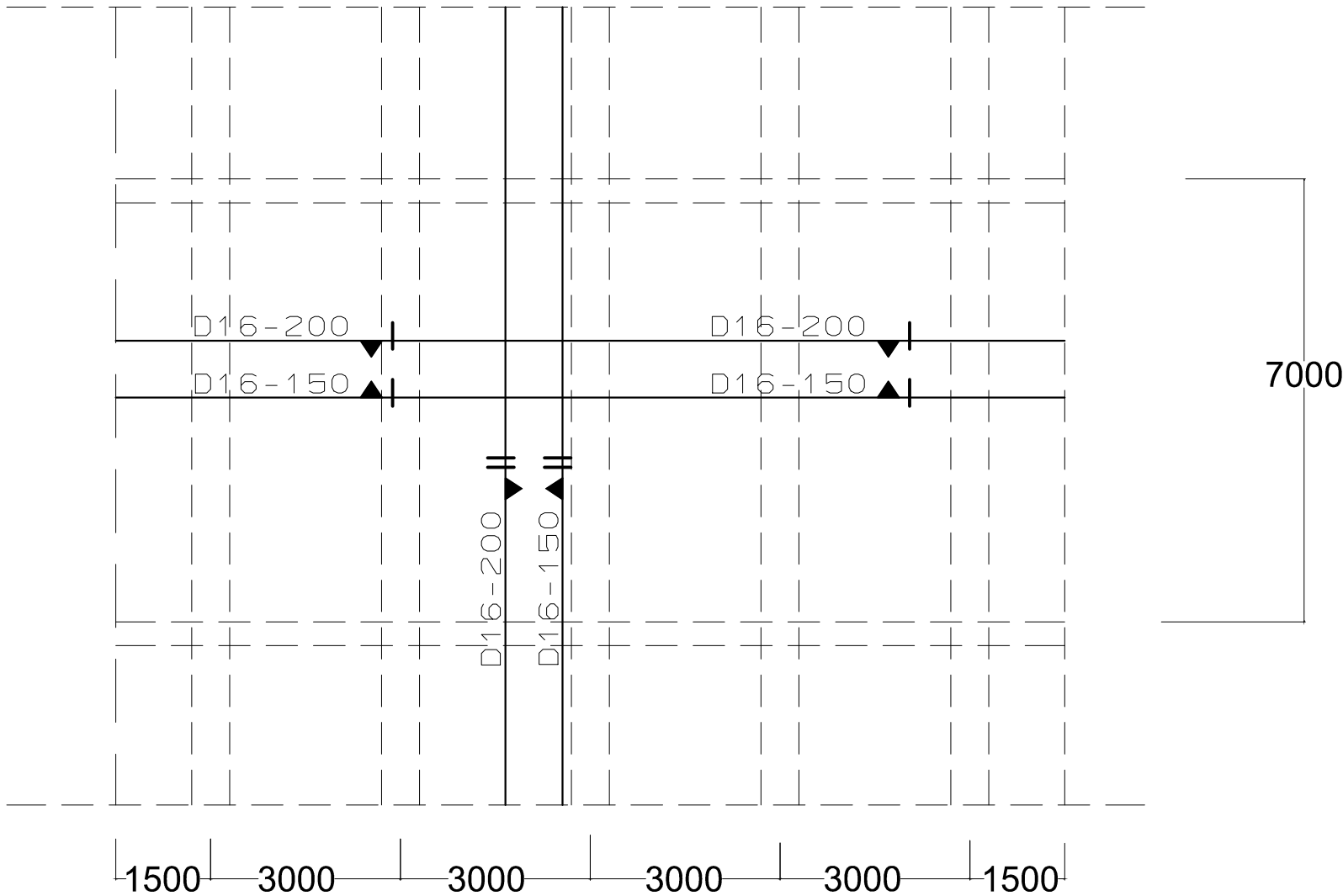
STR

NO.
LEMBAR

20

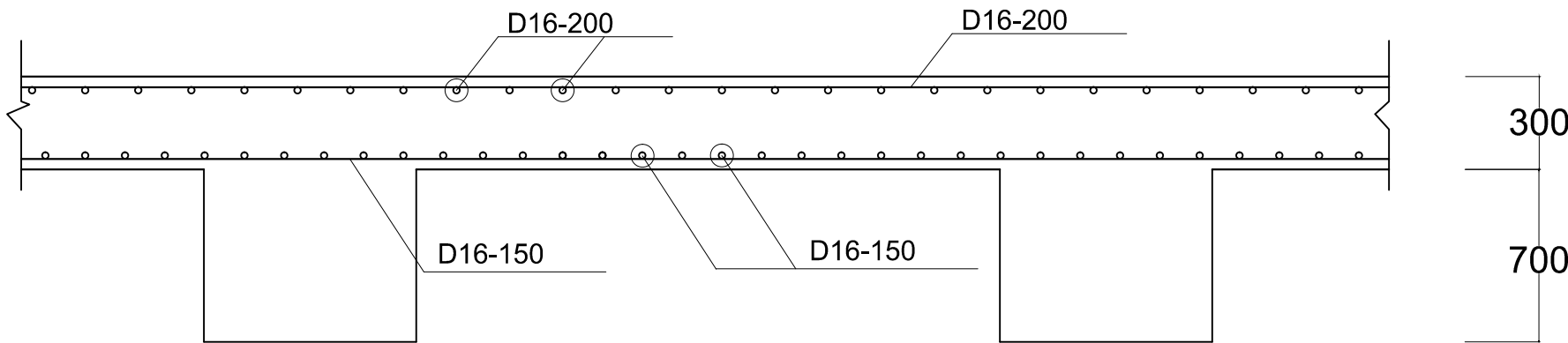
JUMLAH
GAMBAR

33



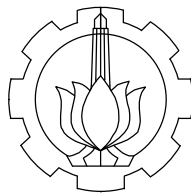
DENAH PENULANGAN
PELAT LANTAI PLATFORM

SKALA 1:200



POTONGAN PENULANGAN
PELAT LANTAI PLATFORM

SKALA 1:25



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

PENULANGAN BALOK
MELINTANG
PLATFORM

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:25

KODE
GAMBAR

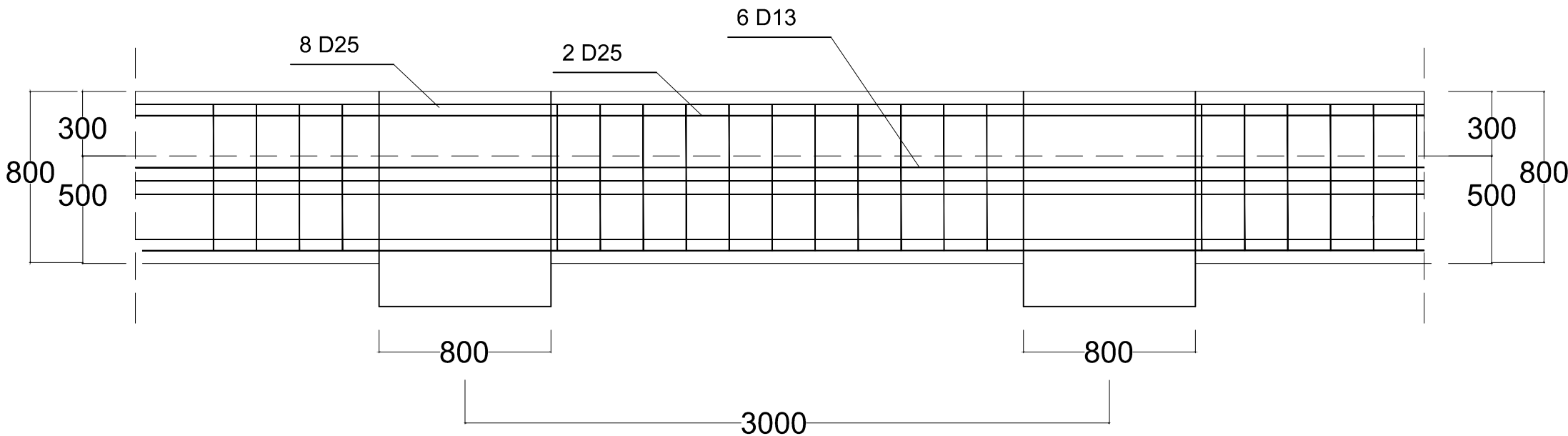
STR

NO.
LEMBAR

21

JUMLAH
GAMBAR

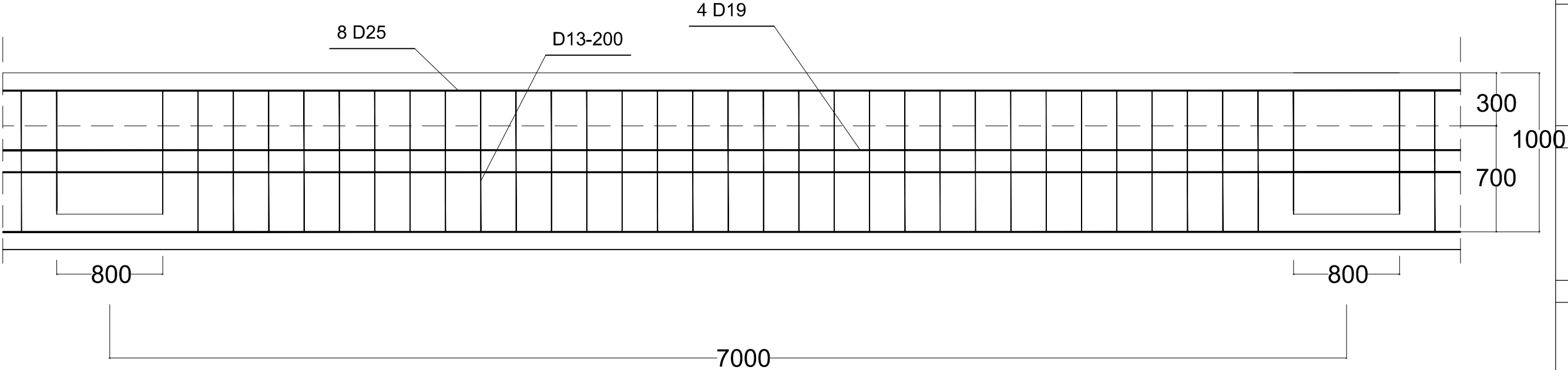
33



PENULANGAN BALOK MELINTANG PLATFORM

SKALA 1:25

| BEAM TYPE | B2 | |
|--------------|-----------|-----------|
| | TUMPUAN | LAPANGAN |
| GAMBAR | | |
| DIMENSI | 600 x 800 | 600 x 800 |
| T.ATAS | 10 D25 | 10 D25 |
| T.BADAN | 6 x D13 | 6 x D13 |
| T.TARIK | 10 D25 | 10 D25 |
| T.GESER | D13-200 | D13-200 |



***PENULANGAN BALOK MEMANJANG
PLATFORM***

SKALA 1:25

| BEAM TYPE | B4 | |
|--------------|------------|------------|
| | TUMPUAN | LAPANGAN |
| GAMBAR | | |
| DIMENSI | 800 x 1000 | 800 x 1000 |
| T.ATAS | 8 D25 | 8 D25 |
| T.BADAN | 4 x D19 | 4 x D19 |
| T.TARIK | 8 D25 | 8 D25 |
| T.GESER | D13-200 | D13-200 |

INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

PENULANGAN BALOK
MEMANJANG
PLATFORM

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:25

KODE
GAMBAR

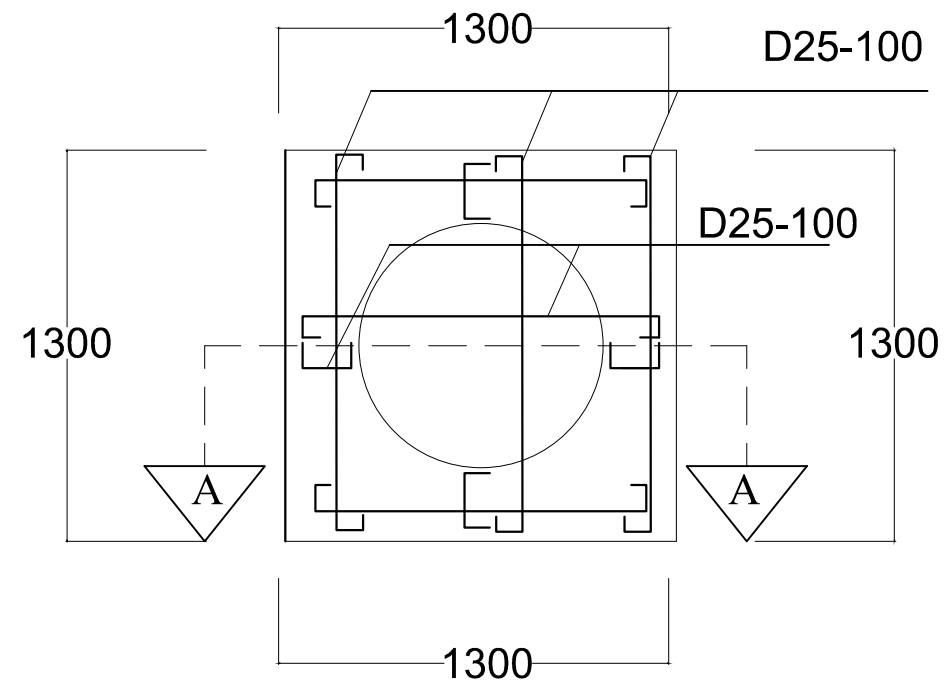
STR

NO.
LEMBAR

22

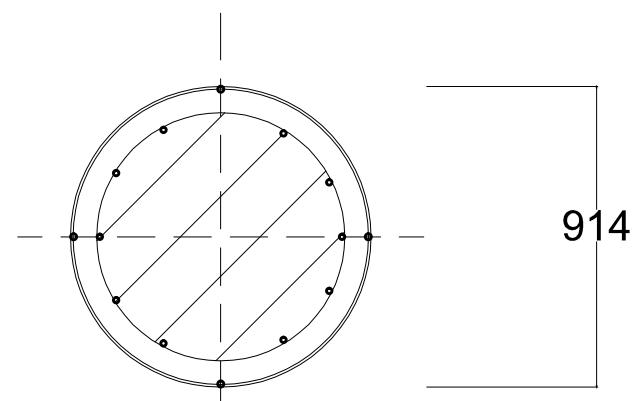
JUMLAH
GAMBAR

33



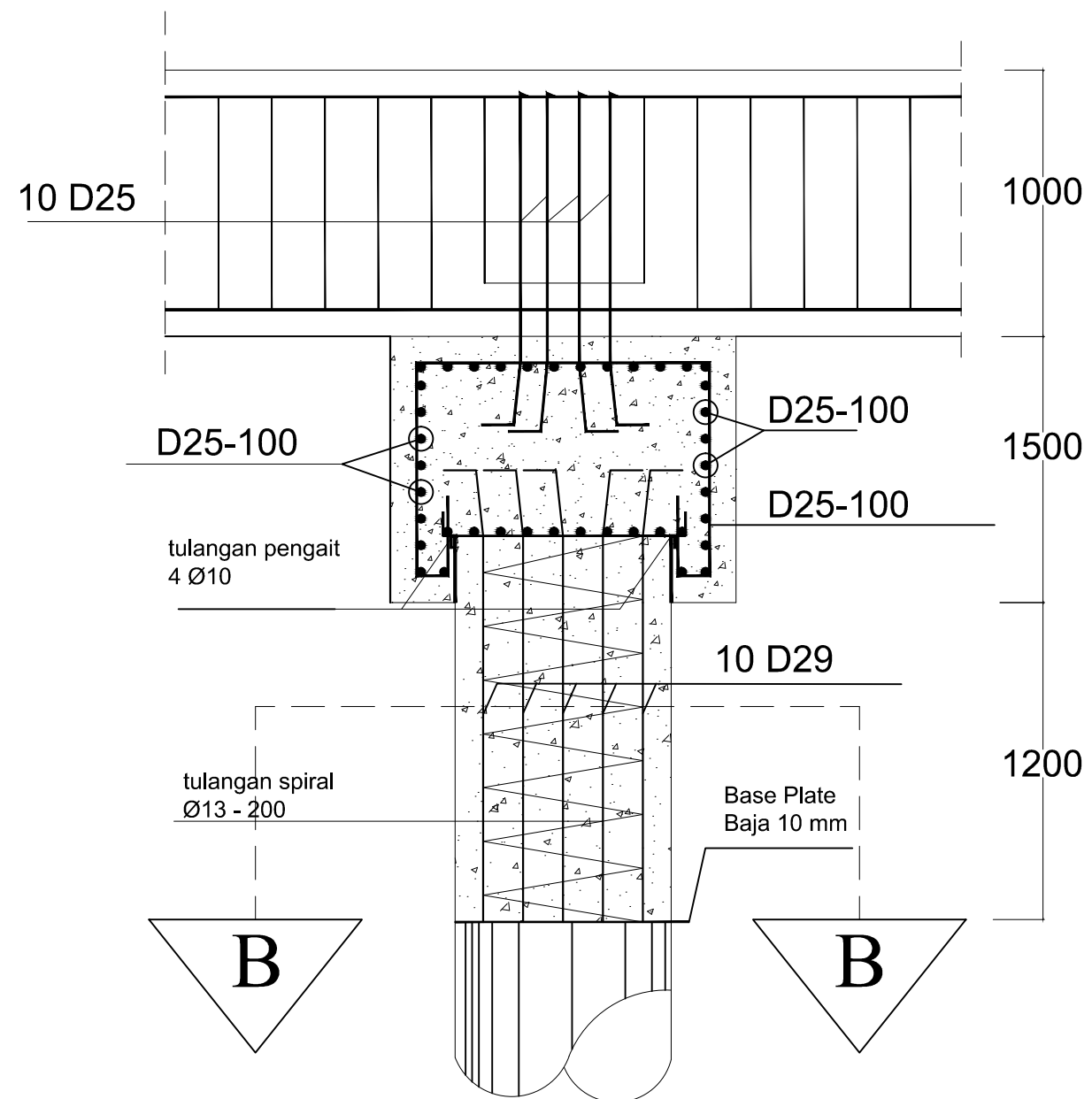
**DENAH PENULANGAN
PC 2 PLATFORM**

SKALA 1:25



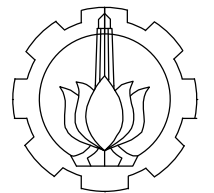
**POTONGAN B-B
PC 2 PLATFORM**

SKALA 1:20



**POTONGAN A-A
PC 2 PLATFORM**

SKALA 1:25



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

PENULANGAN PILE
CAP PLATFORM

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:25

KODE
GAMBAR

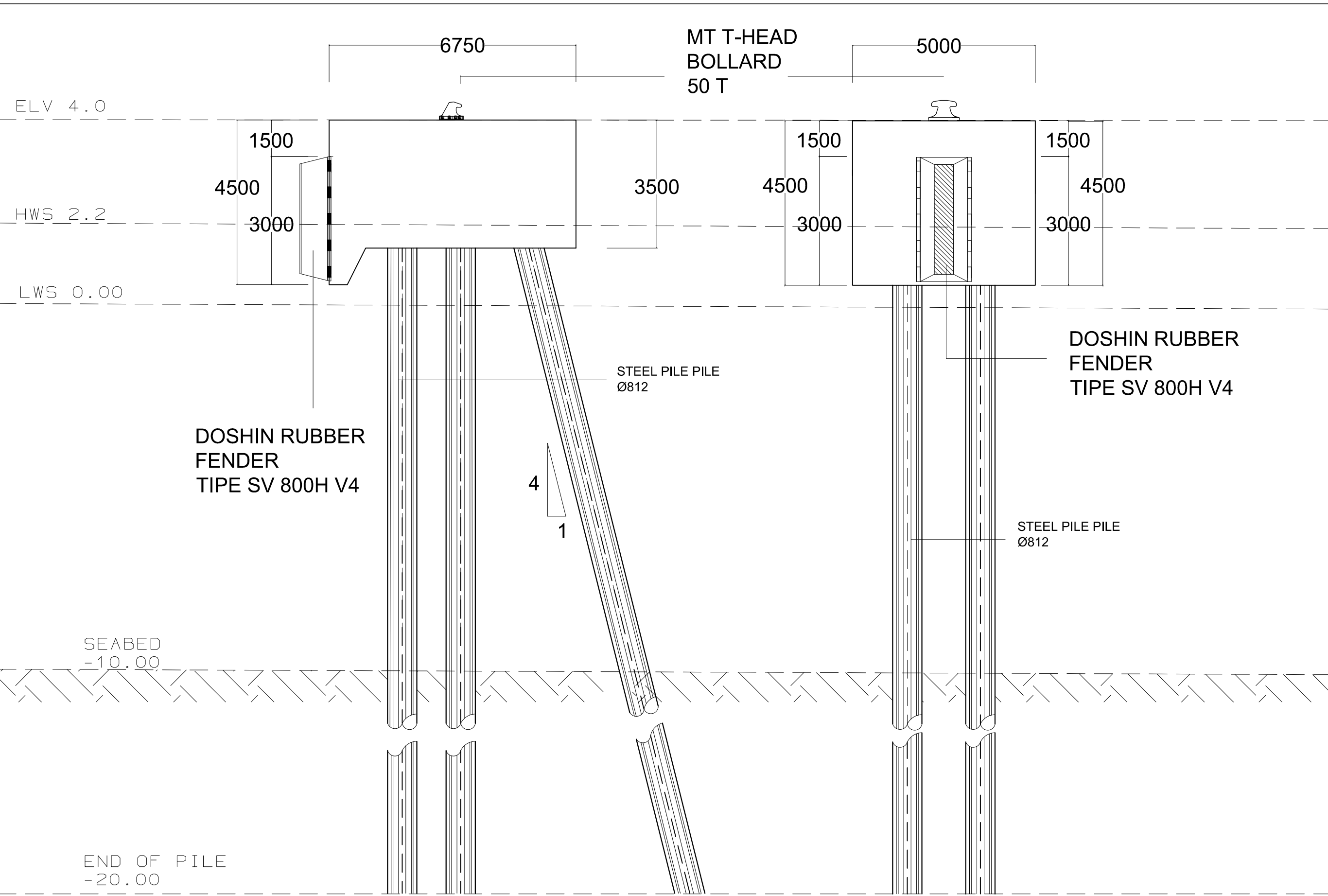
STR

NO.
LEMBAR

23

JUMLAH
GAMBAR

33



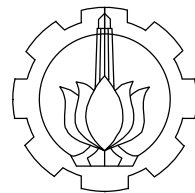
TAMPAK SAMPING
BERTHING DOLPHIN

SKALA 1:100

TAMPAK DEPAN
BERTHING DOLPHIN

SKALA 1:100

| | |
|---|---------------|
| | |
| INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER | |
| JUDUL TUGAS AKHIR | |
| MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR DERMAGA MINYAK BRONDONG LAMONGAN DENGAN KAPASITAS 10.000 DWT | |
| NAMA GAMBAR | |
| TAMPAK SAMPING BERTHING DOLPHIN | |
| TAMPAK DEPAN BERTHING DOLPHIN | |
| MAHASISWA | |
| EDO YOGA PRASETYA 10111500000053 | |
| HILWA JAUDAH 10111500000099 | |
| DOSEN PEMBIMBING | |
| Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng 195711199 198503 1 001 | |
| KETERANGAN GAMBAR | |
| | |
| SKALA GAMBAR | |
| 1:100 | |
| KODE GAMBAR | |
| STR | |
| NO. LEMBAR | JUMLAH GAMBAR |
| 24 | 33 |



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

TAMPAK ATAS
BERTHING DOLPHIN

DENAH PILE
BERTHING DOLPHIN

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:50

KODE
GAMBAR

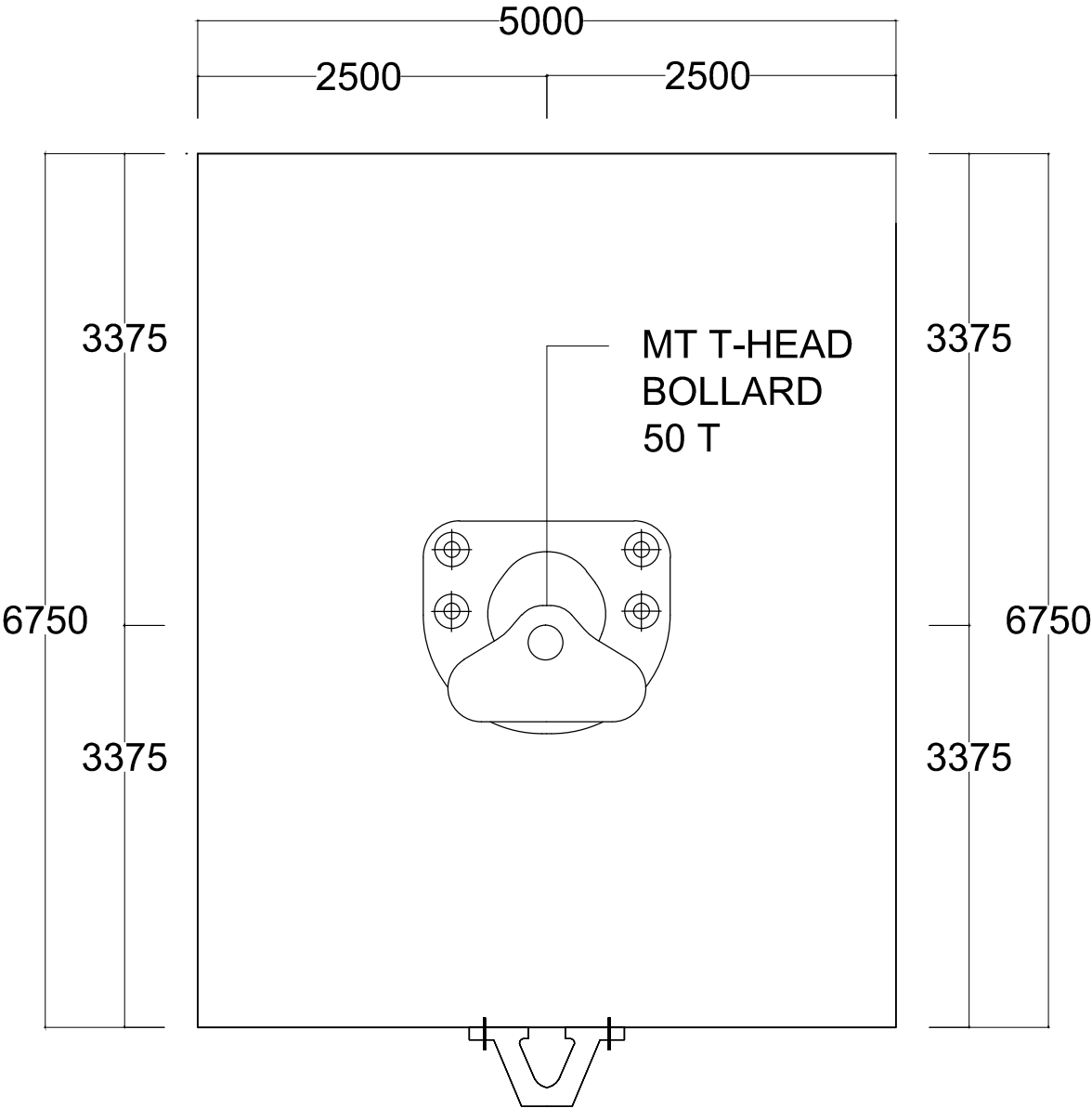
STR

NO.
LEMBAR

JUMLAH
GAMBAR

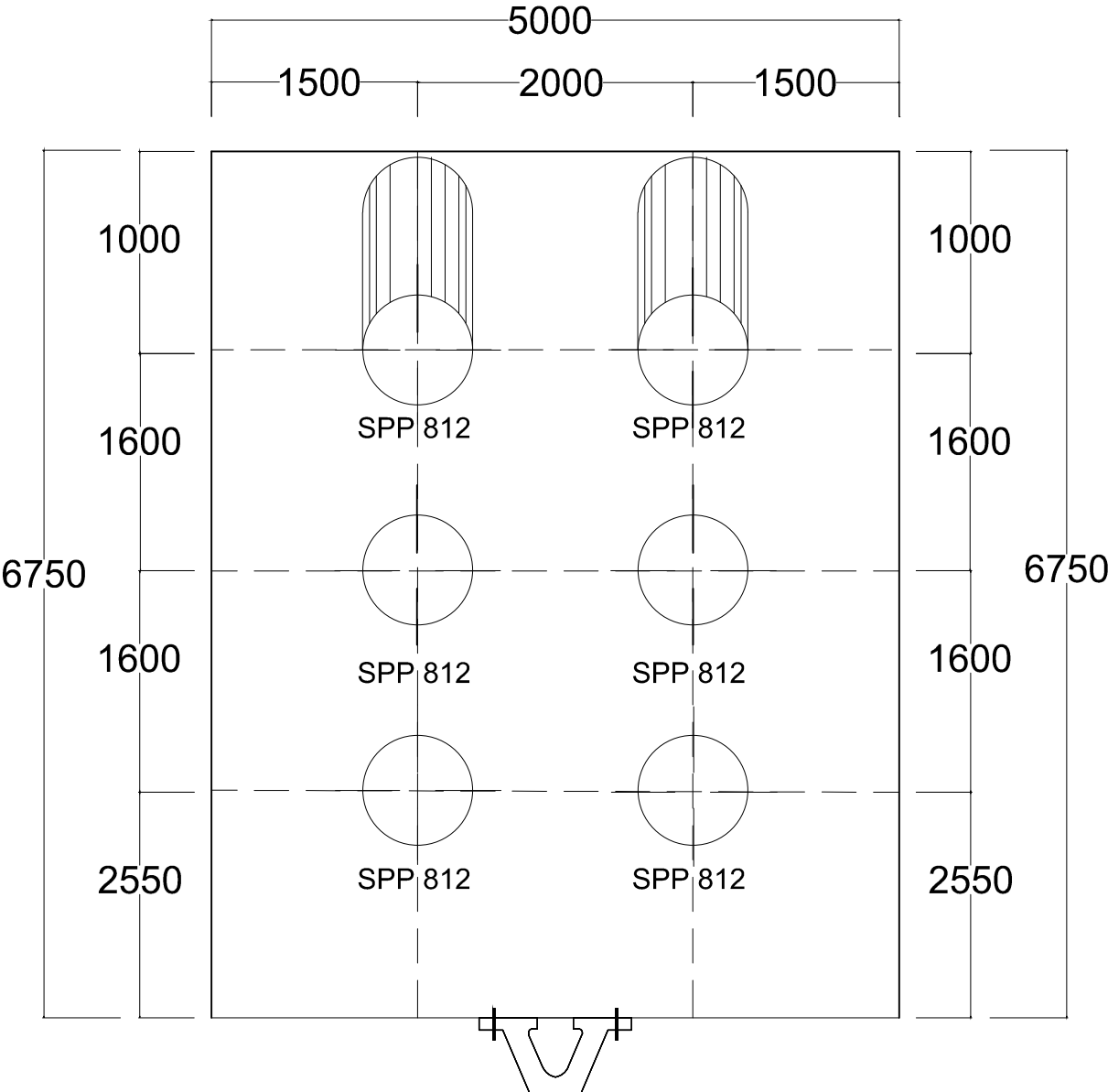
25

33



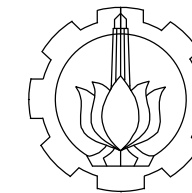
TAMPAK ATAS
BERTHING DOLPHIN

SKALA 1:50



DENAH PILE
BERTHING DOLPHIN

SKALA 1:50



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

TAMPAK ATAS
MOORING DOLPHIN

DENAH PILE
MOORING DOLPHIN

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:50

KODE
GAMBAR

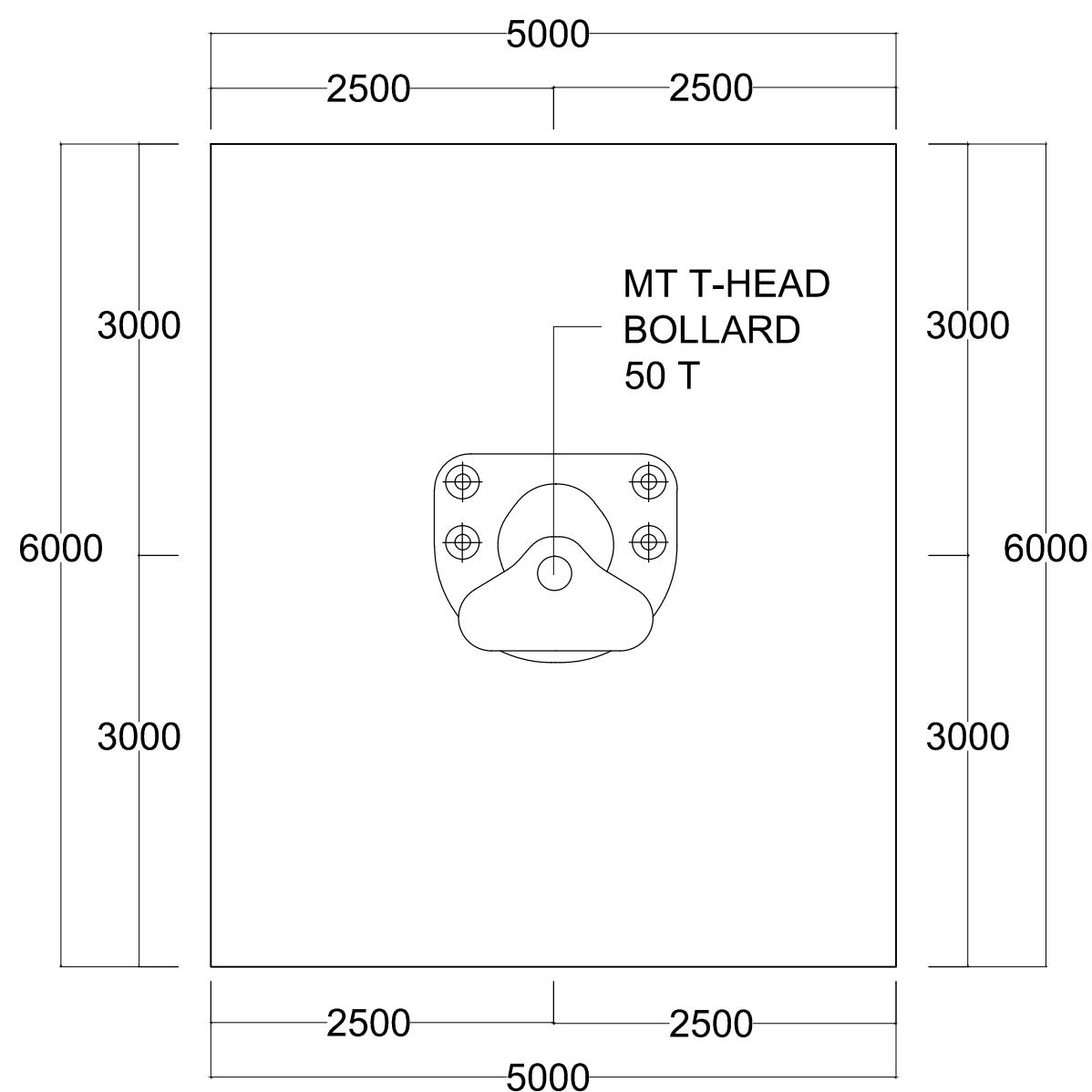
STR

NO.
LEMBAR

26

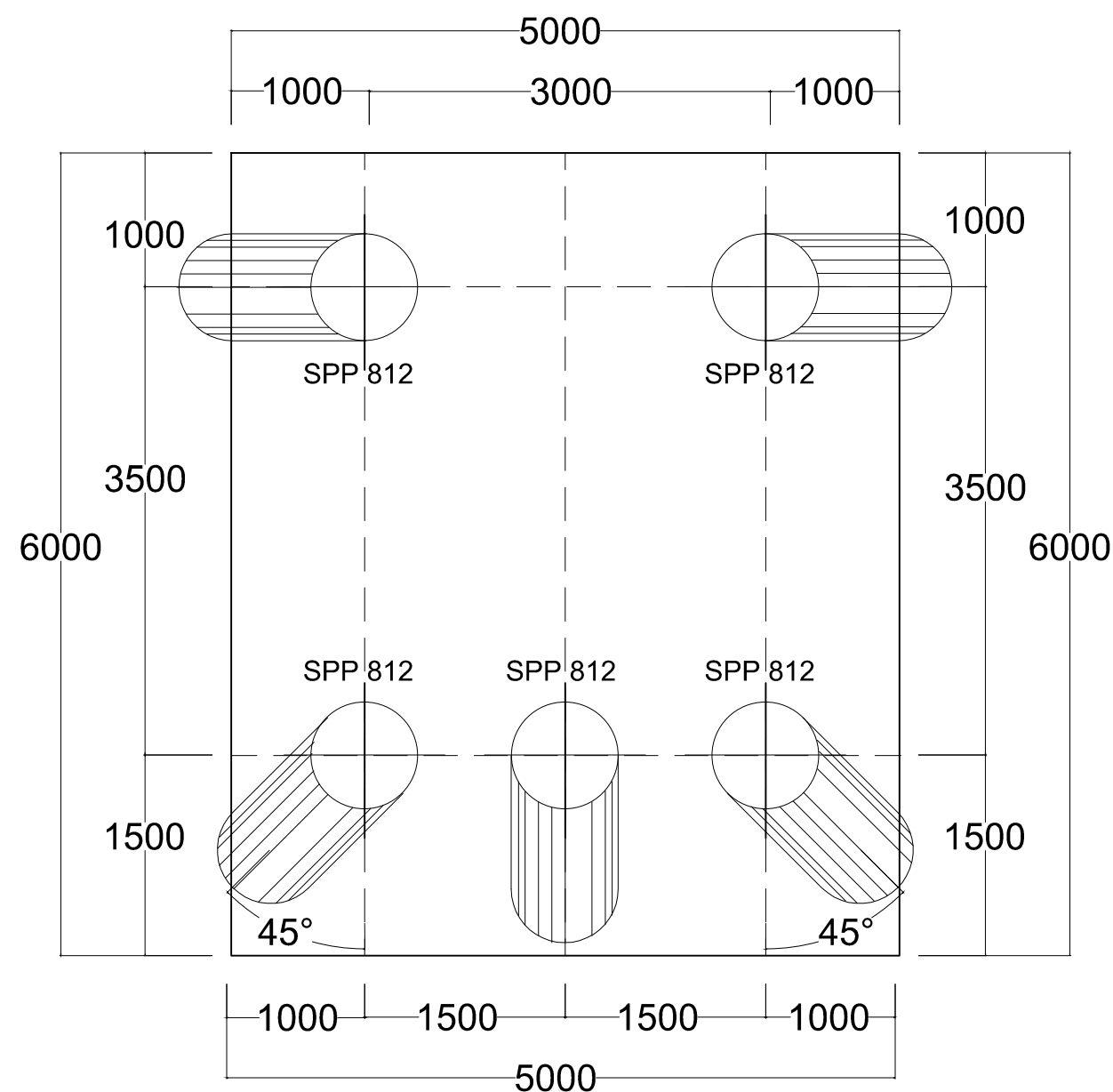
JUMLAH
GAMBAR

33



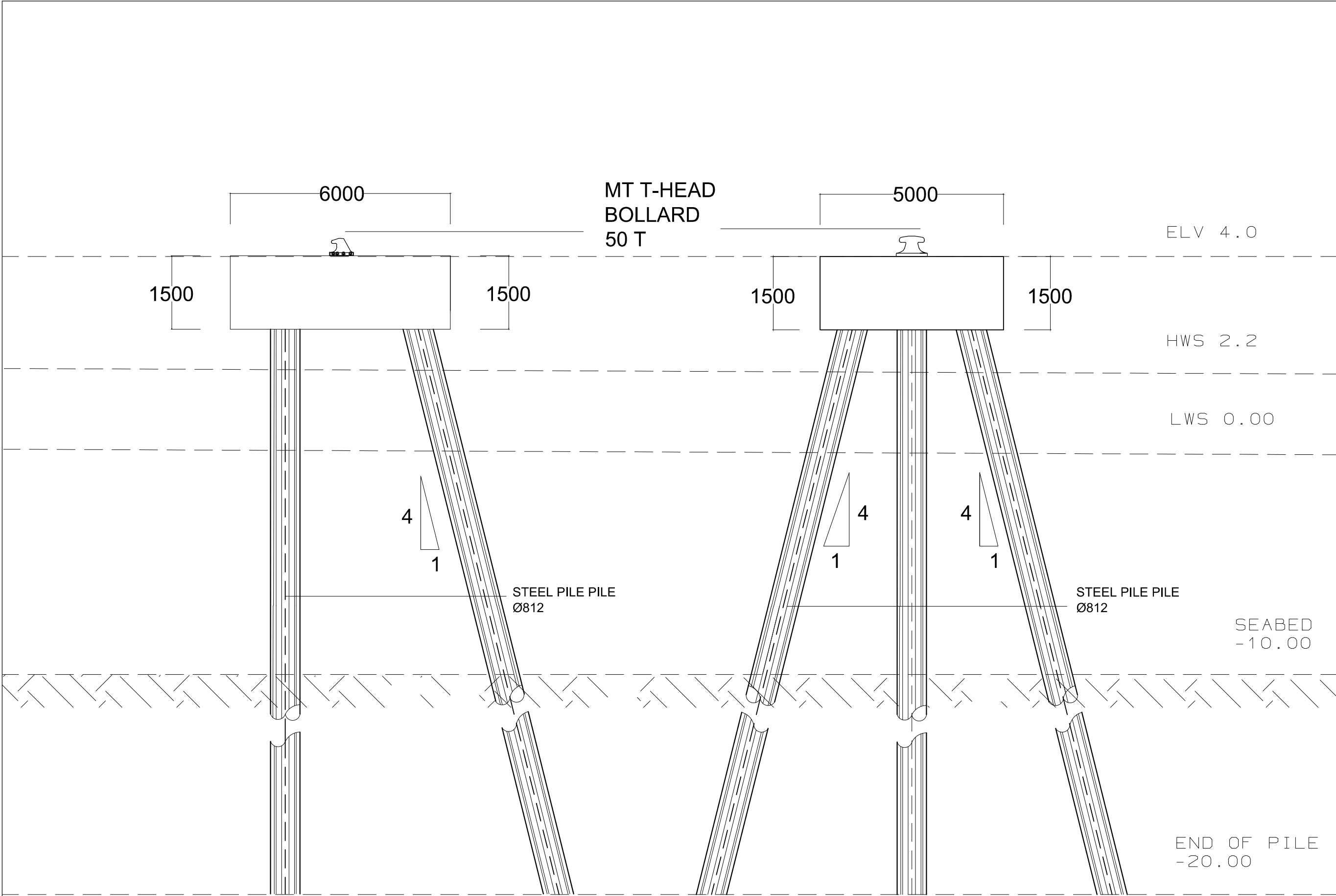
TAMPAK ATAS
MOORING DOLPHIN (MD 2, 3 ,4 ,5)

SKALA 1:50



DENAH PILE
MOORING DOLPHIN (MD 2, 3, 4, 5)

SKALA 1:50



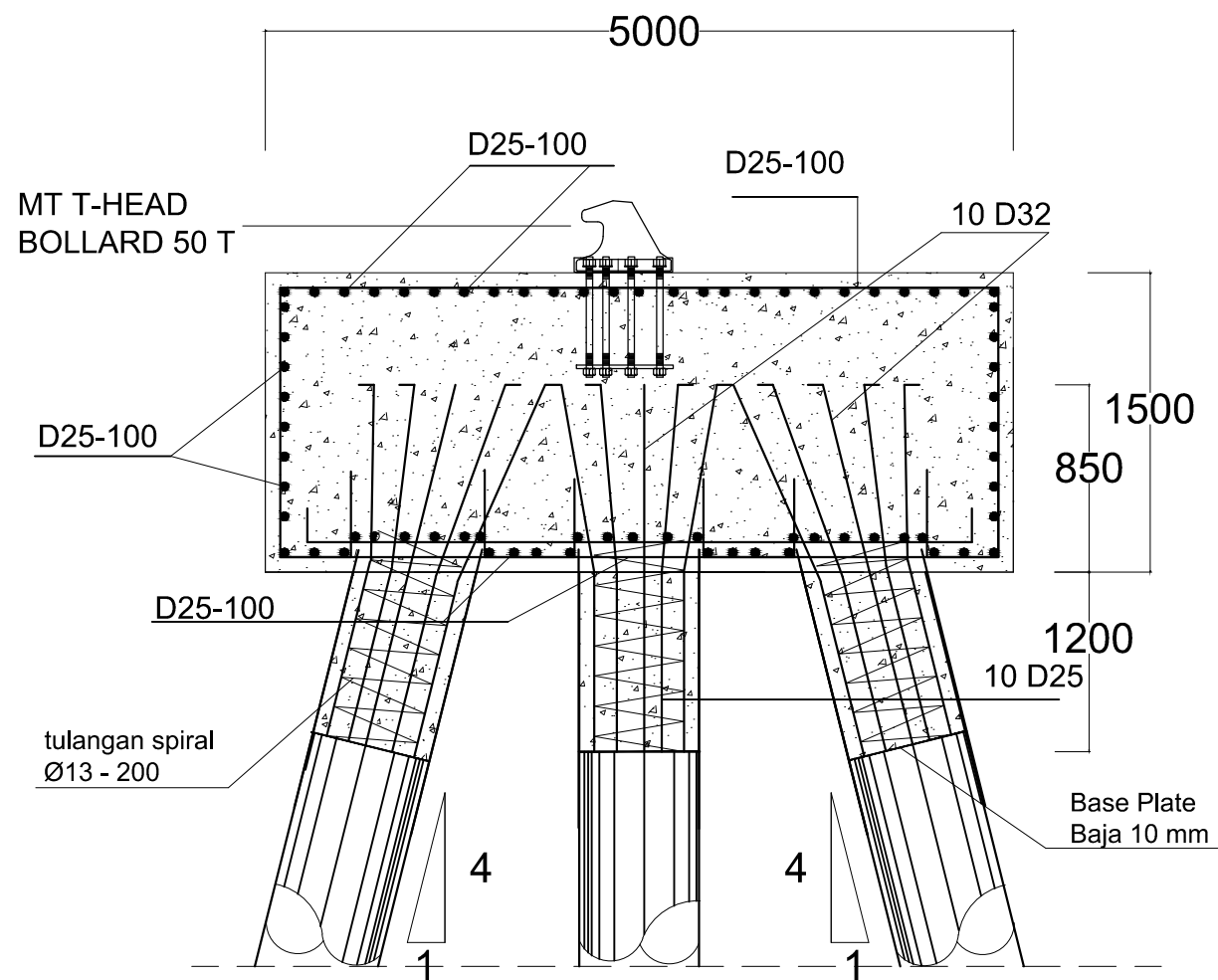
**TAMPAK SAMPING
MOORING DOLPHIN**

SKALA 1:100

**TAMPAK DEPAN
MOORING DOLPHIN**

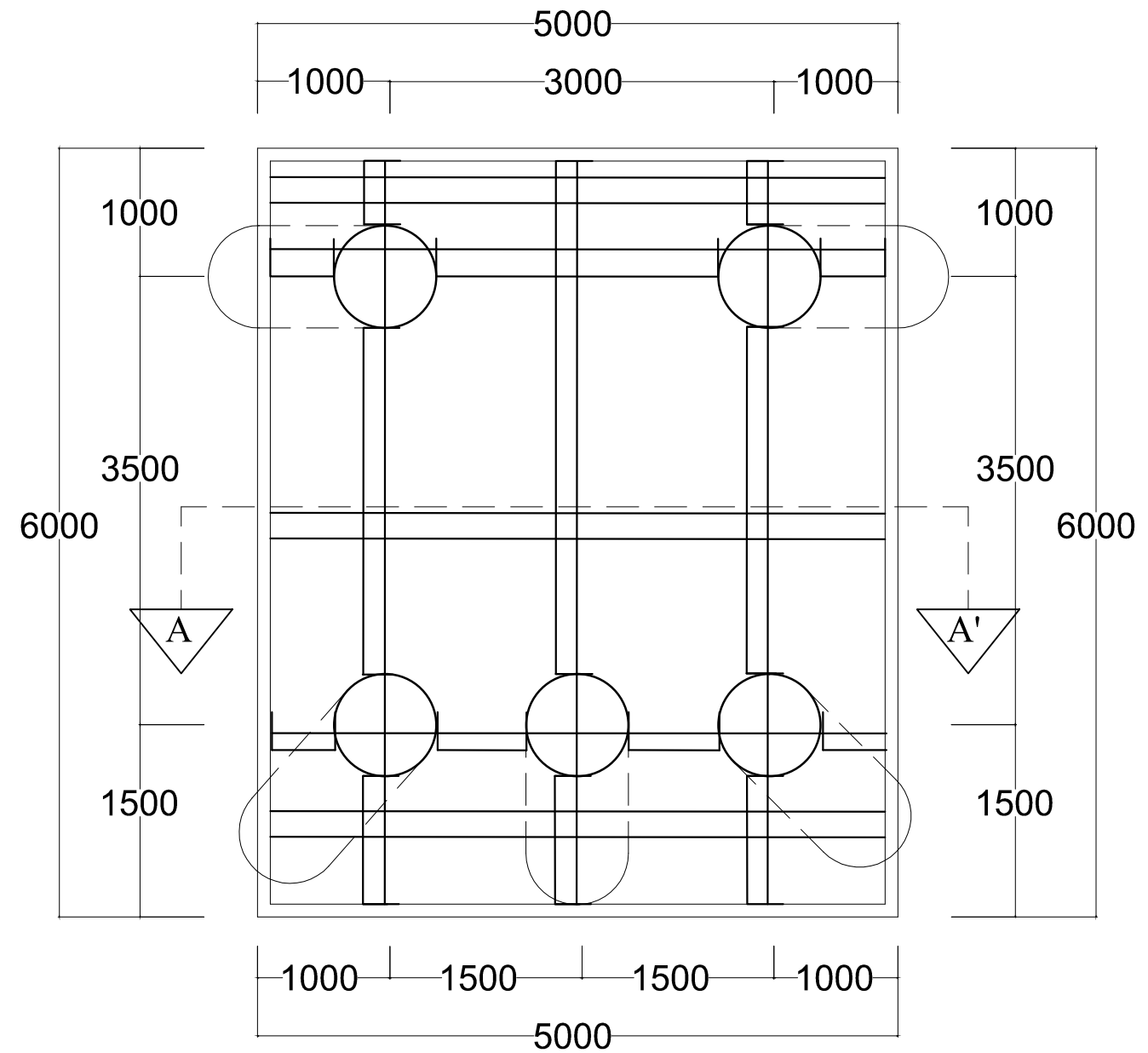
SKALA 1:100

| | |
|---|------------------|
| | |
| INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER | |
| JUDUL TUGAS AKHIR | |
| MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR DERMAGA MINYAK BRONDONG LAMONGAN DENGAN KAPASITAS 10.000 DWT | |
| NAMA GAMBAR | |
| TAMPAK DEPAN MOORING DOLPHIN | |
| TAMPAK SAMPING MOORING DOLPHIN | |
| MAHASISWA | |
| EDO YOGA PRASETYA 1011150000053 | |
| HILWA JAUDAH 1011150000099 | |
| DOSEN PEMBIMBING | |
| Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng 195711199 198503 1 001 | |
| KETERANGAN GAMBAR | |
| | |
| SKALA GAMBAR | |
| 1:100 | |
| KODE GAMBAR | |
| STR | |
| NO. LEMBAR | JUMLAH GAMBAR |
| 27 | 33 |



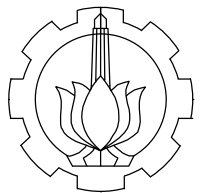
POTONGAN A - A'
MOORING DOLPHIN

SKALA 1:50



DENAH PENULANGAN
MOORING DOLPHIN

SKALA 1:50



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

DENAH PENULANGAN
MOORING DOLPHIN

POTONGAN A-A'
MOORING DOLPHIN

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
1011150000053

HILWA JAUDAH
1011150000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:50

KODE
GAMBAR

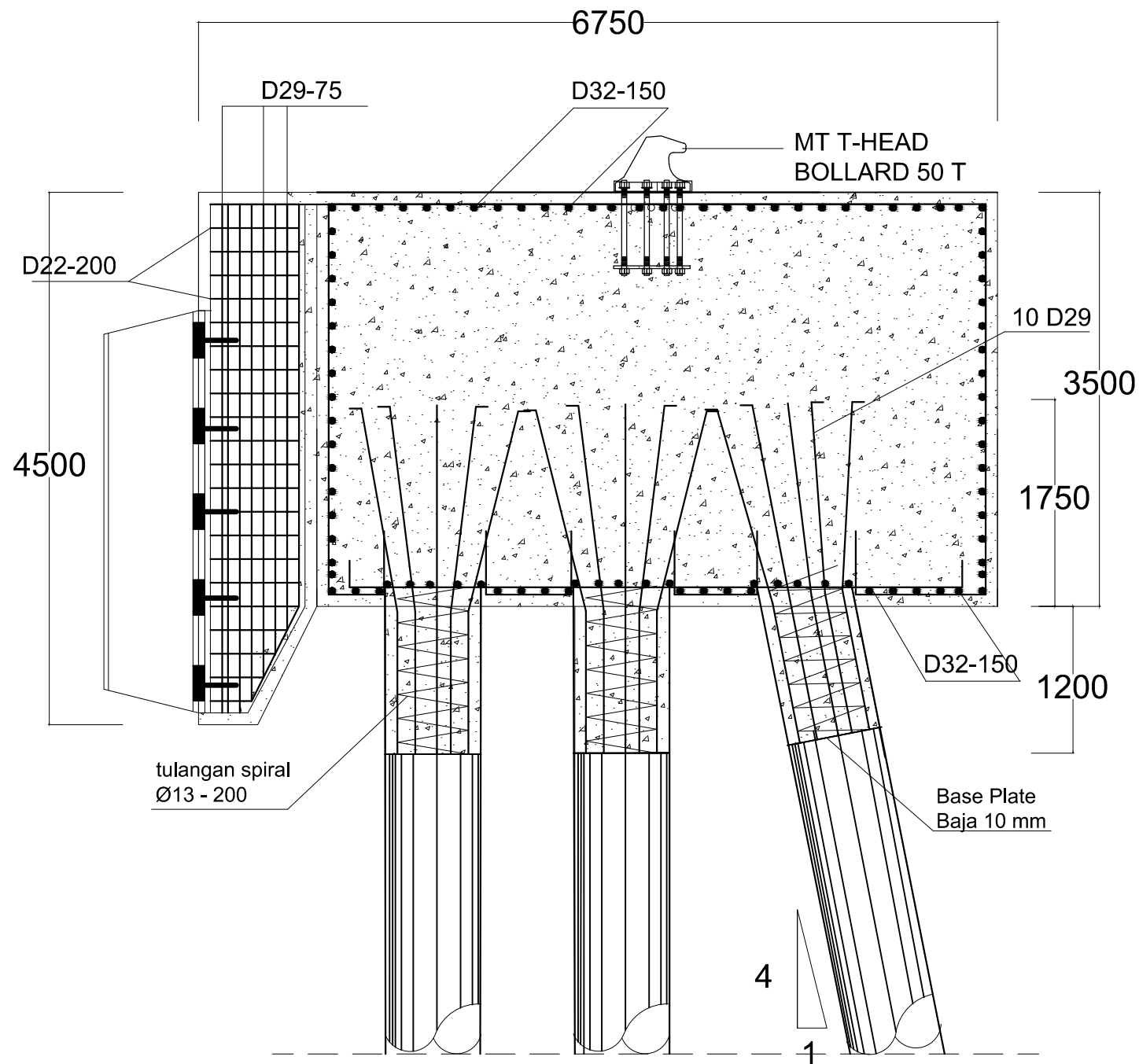
STR

NO.
LEMBAR

28

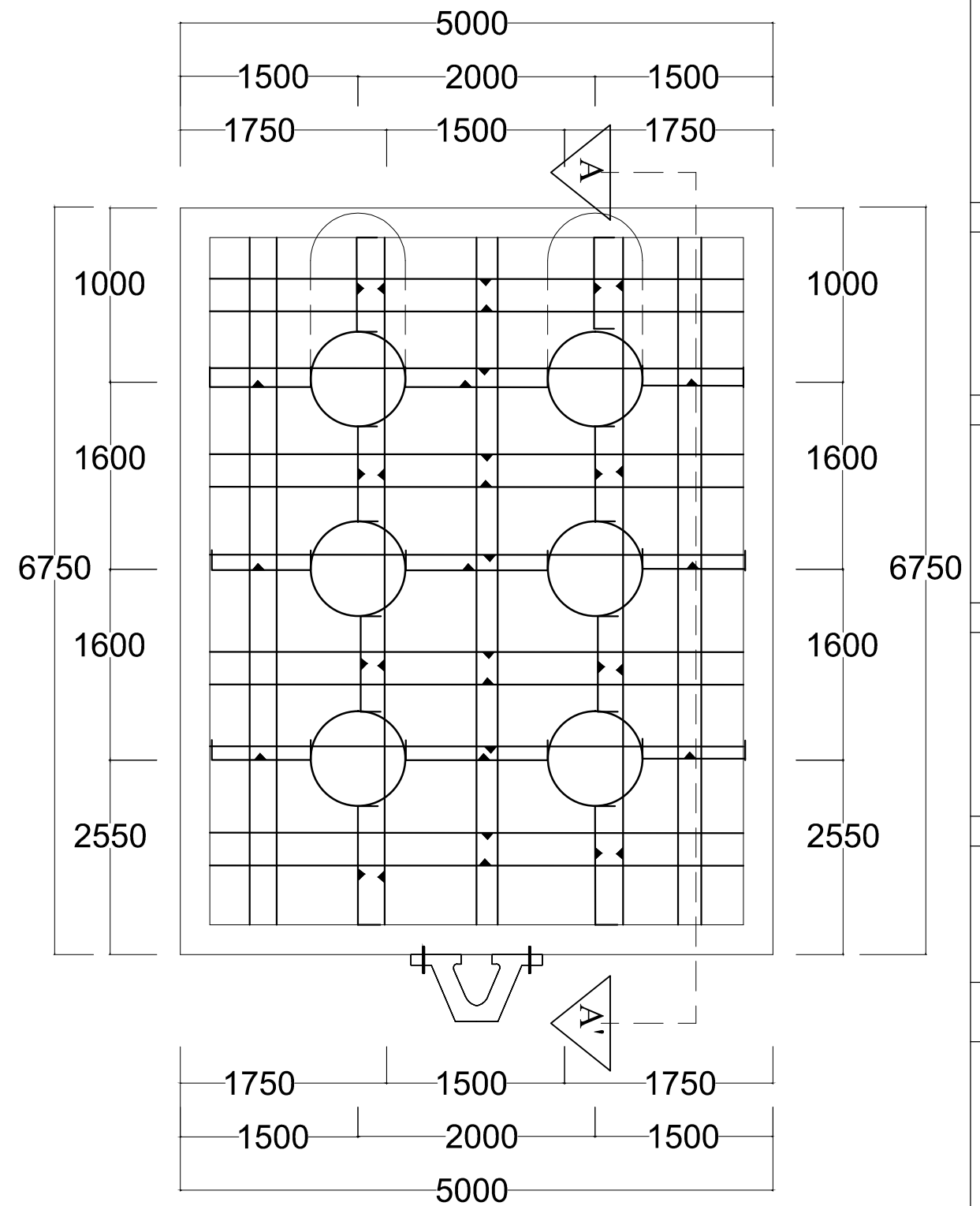
JUMLAH
GAMBAR

33



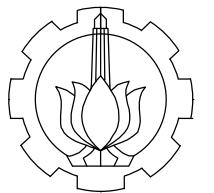
POTONGAN A - A'
BERTHING DOLPHIN

SKALA 1:50



DENAH PENULANGAN
BERTHING DOLPHIN

SKALA 1:50



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

DENAH PENULANGAN
BERTHING DOLPHIN

POTONGAN A-A'
BERTHING DOLPHIN

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
1011150000053

HILWA JAUDAH
1011150000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:150

KODE
GAMBAR

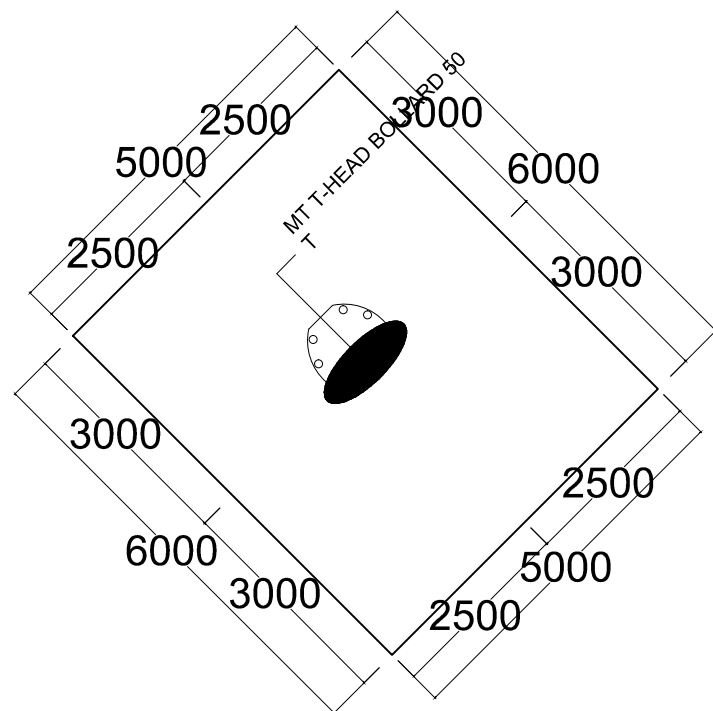
STR

NO.
LEMBAR

29

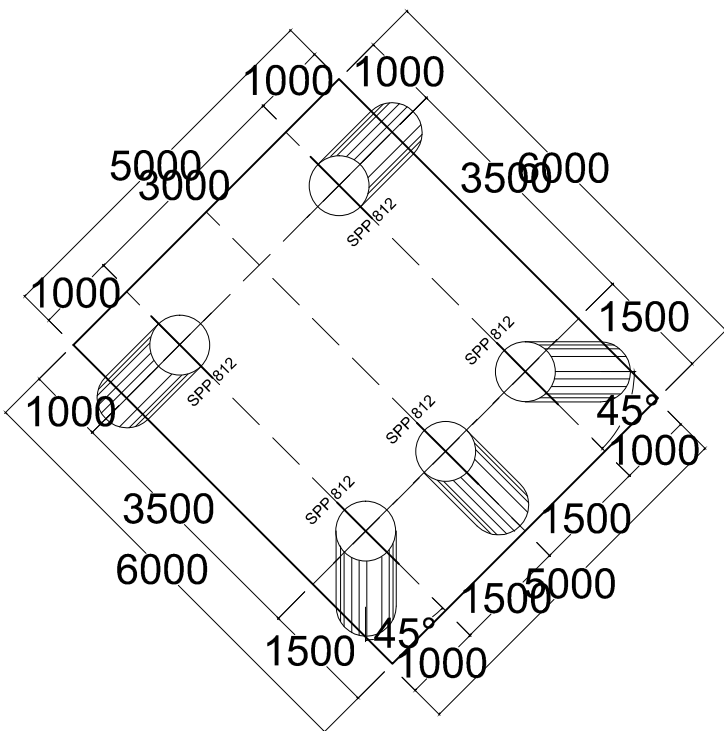
JUMLAH
GAMBAR

33



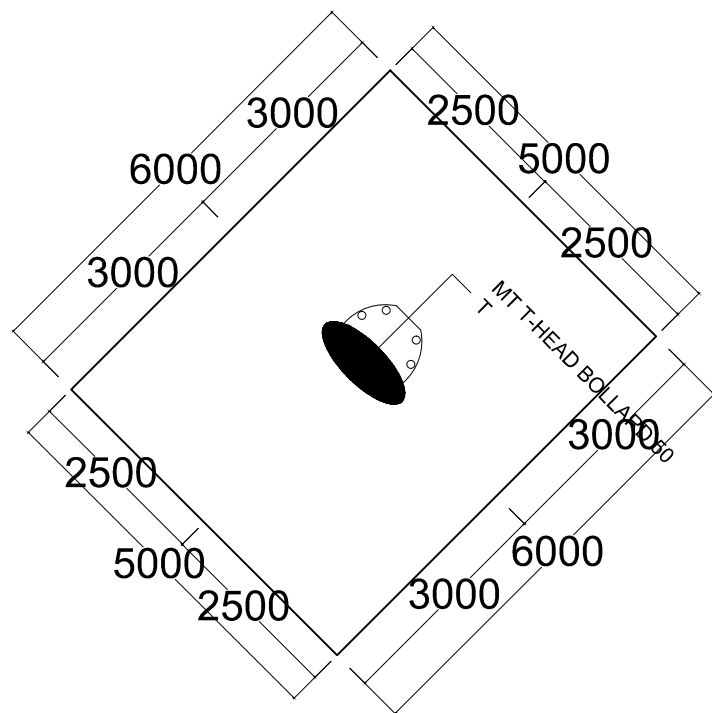
**TAMPAK ATAS
MOORING DOLPHIN (MD 1)**

SKALA 1:50



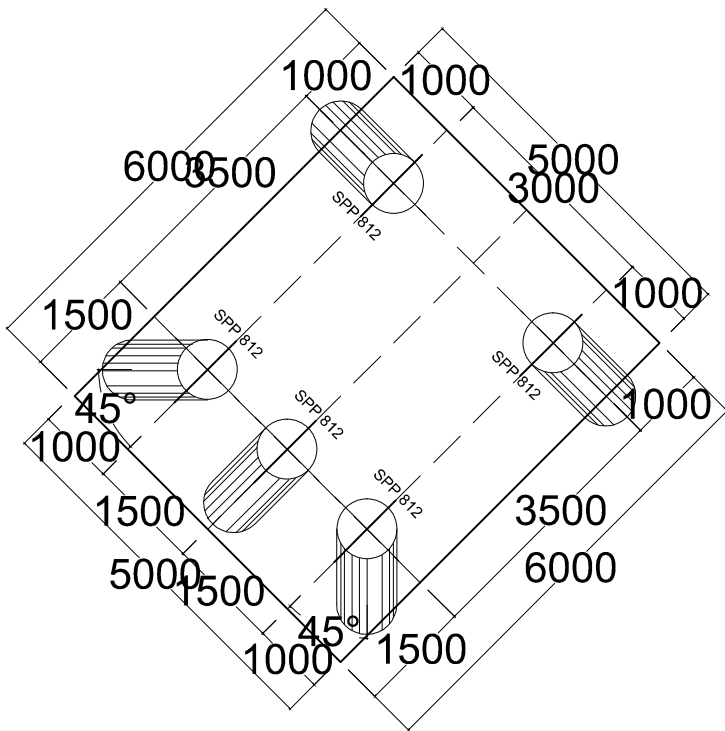
**DENAH PILE
MOORING DOLPHIN (MD 1)**

SKALA 1:50



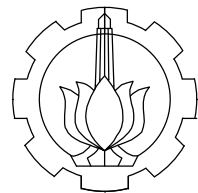
**TAMPAK ATAS
MOORING DOLPHIN (MD 6)**

SKALA 1:50



**DENAH PILE
MOORING DOLPHIN (MD 6)**

SKALA 1:50



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

DENAH MOORING
DOLPHIN
(MD 1 DAN MD 6)

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:50

KODE
GAMBAR

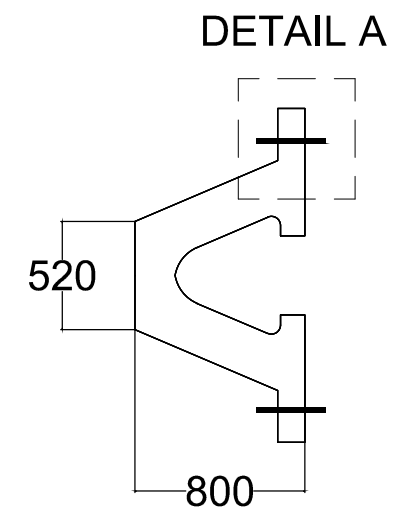
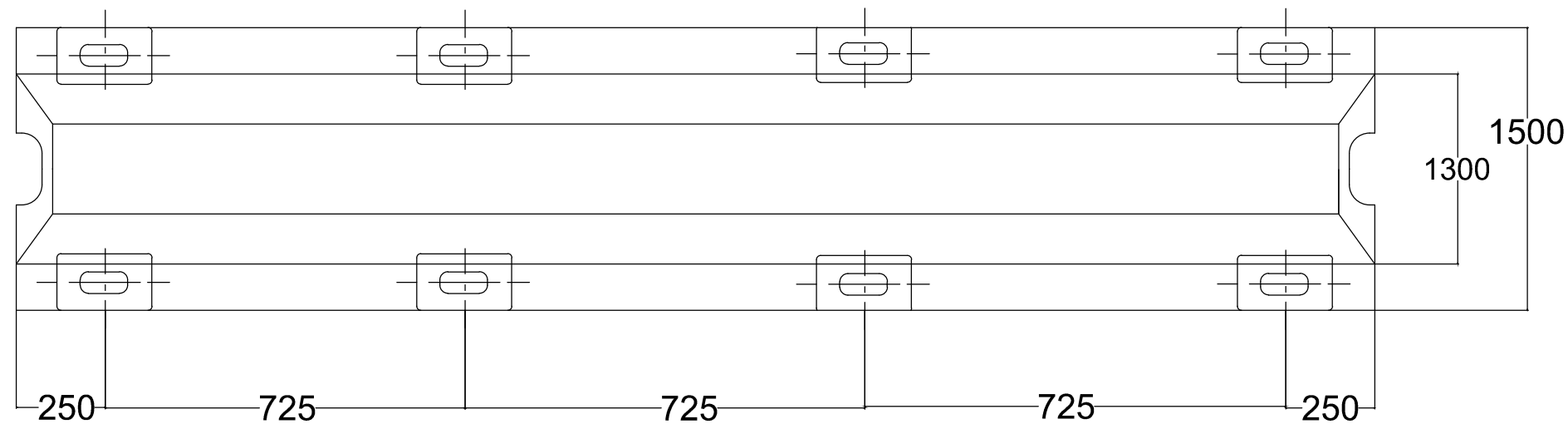
STR

NO.
LEMBAR

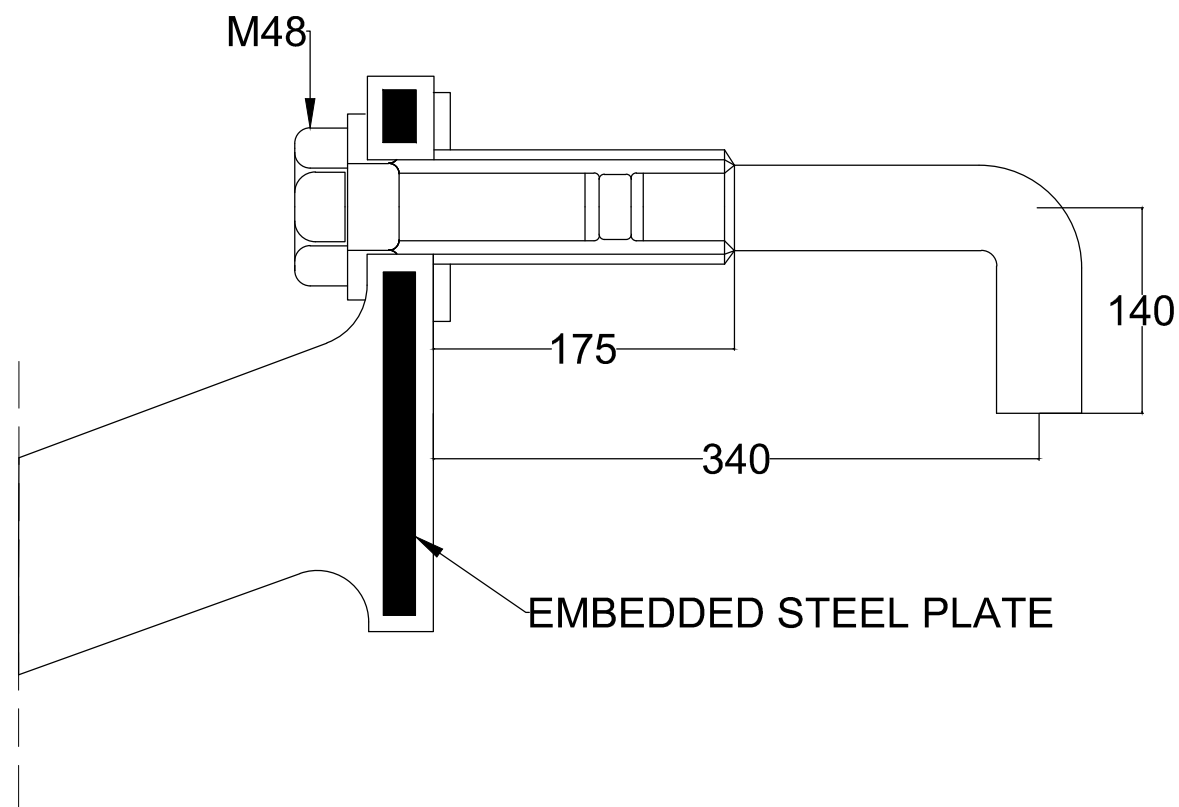
30

JUMLAH
GAMBAR

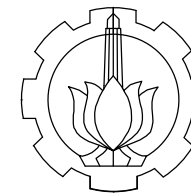
33



**DETAIL FENDER
SV 800H V4**
SKALA 1:20



**DETAIL A
FENDER SV 800H V4**



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

DETAIL FENDER

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:20

KODE
GAMBAR

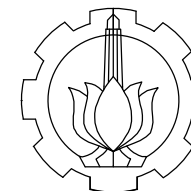
STR

NO.
LEMBAR

31

JUMLAH
GAMBAR

33



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

DETAIL BOLLARD

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:100

KODE
GAMBAR

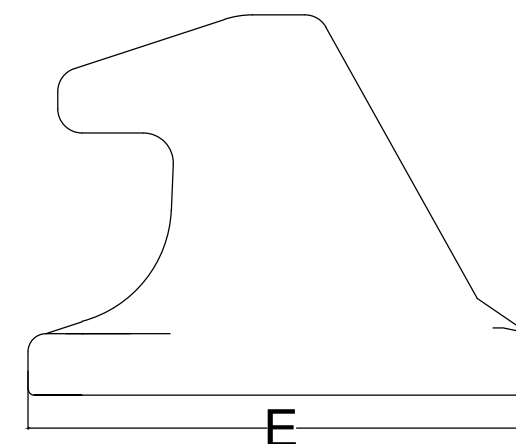
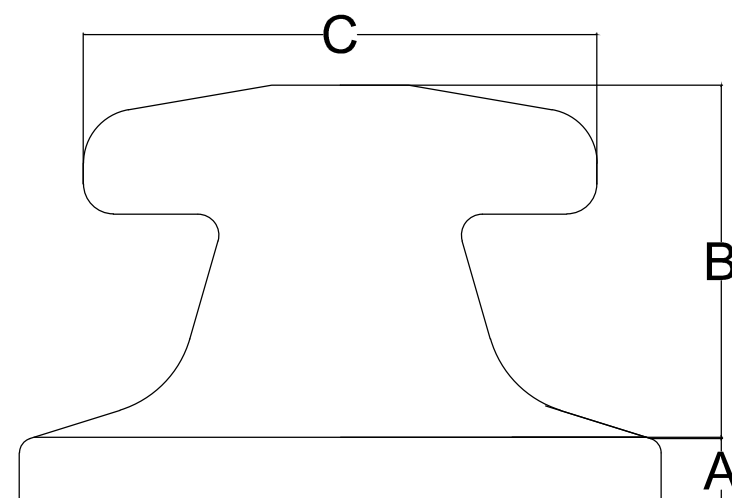
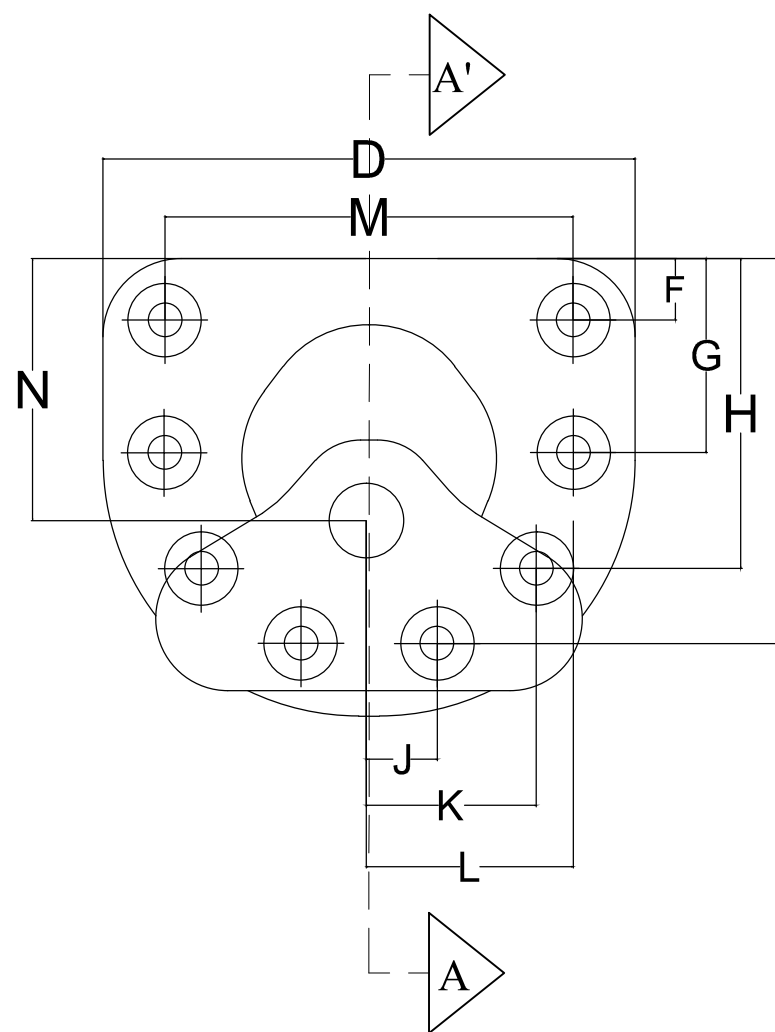
STR

NO.
LEMBAR

32

JUMLAH
GAMBAR

33

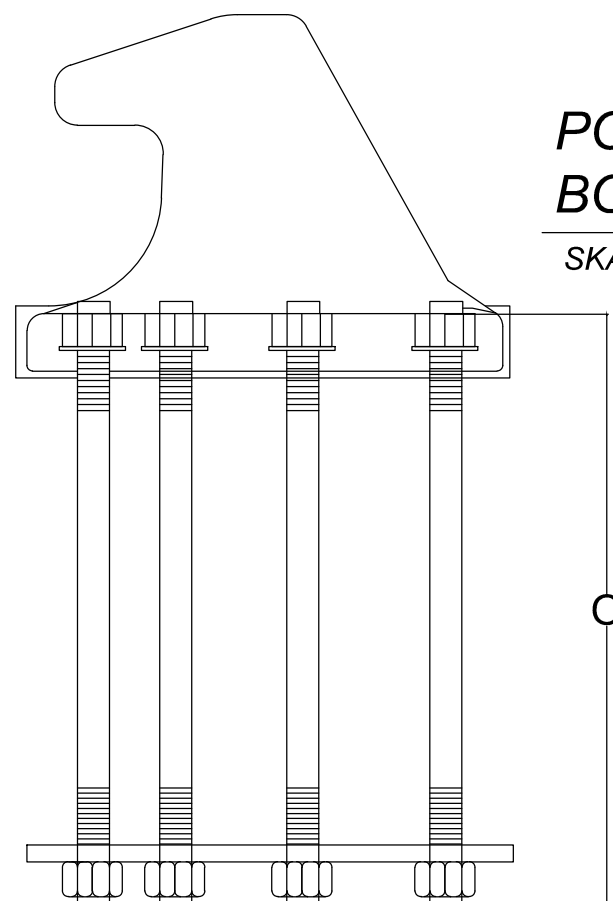


DETAIL BOLLARD MT HEAD 50 T

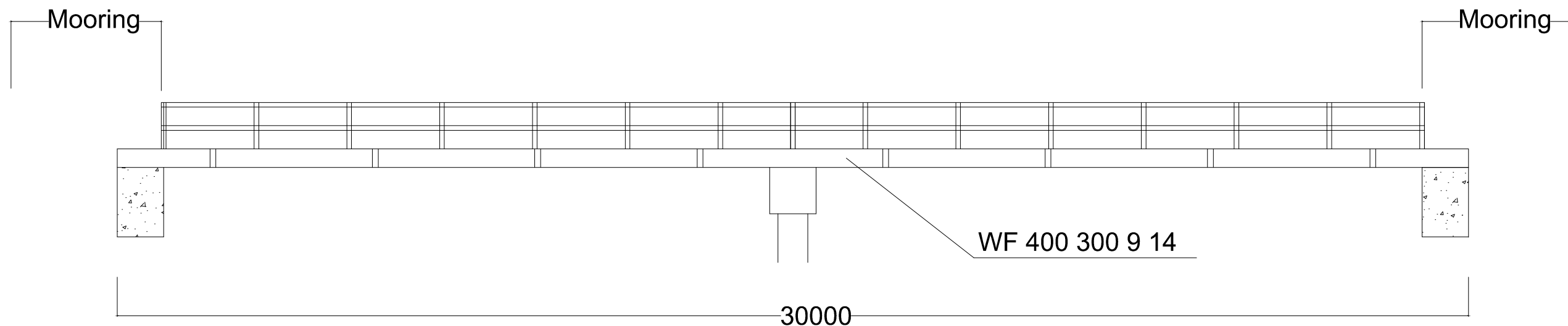
SKALA 1:100

POTONGAN A -A' BOLLARD MT HEAD 50 T

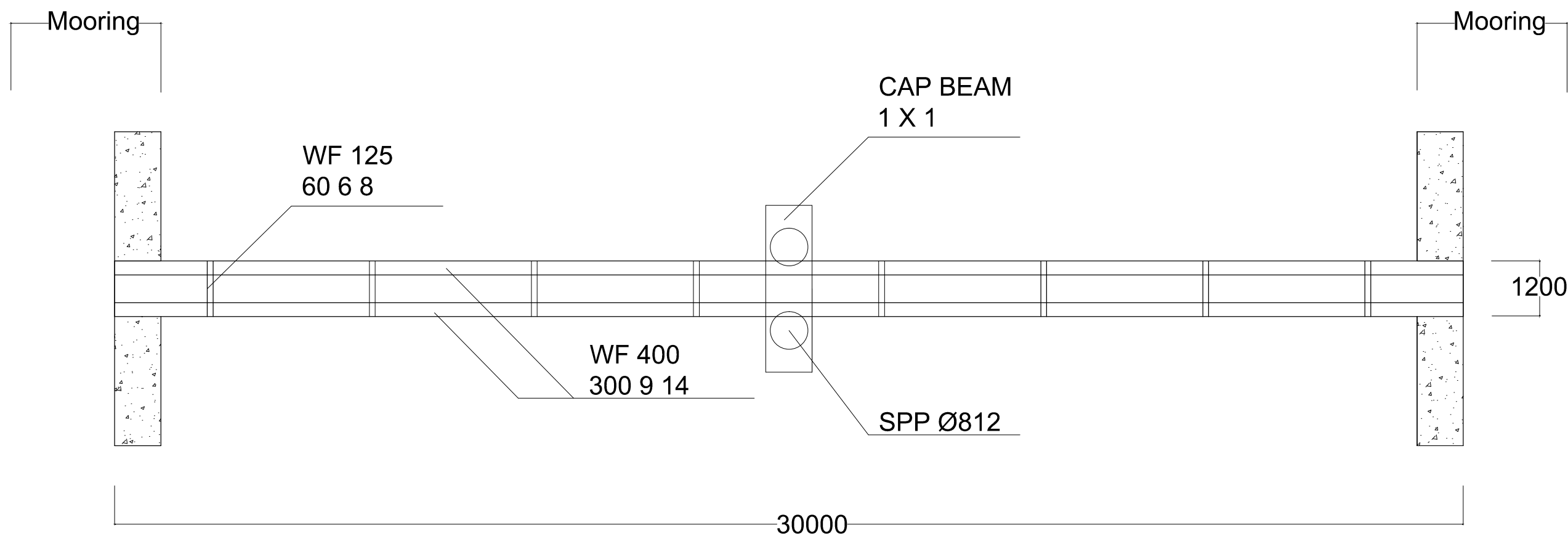
SKALA 1:100



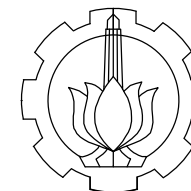
| A mm | B mm | C mm | D mm | E mm | F mm | G mm | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| 70 | 308 | 451 | 564 | 489 | 66 | - | | |
| H mm | I mm | J mm | K mm | L mm | M mm | N mm | O mm | |
| 298 | 423 | 0 | 196 | - | 432 | 279 | 590 | |



**TAMPAK SAMPING
CATWALK**
SKALA 1:100



DENAH CATWALK
SKALA 1:100



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN
STRUKTUR DERMAGA
MINYAK BRONDONG
LAMONGAN DENGAN
KAPASITAS 10.000 DWT

NAMA GAMBAR

DENAH CATWALK

MAHASISWA

EDO YOGA PRASETYA
10111500000053

HILWA JAUDAH
10111500000099

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SULCHAN ARIFIN, M.Eng
195711199 198503 1 001

KETERANGAN
GAMBAR

SKALA GAMBAR

1:100

KODE
GAMBAR

STR

NO.
LEMBAR

33

JUMLAH
GAMBAR

33